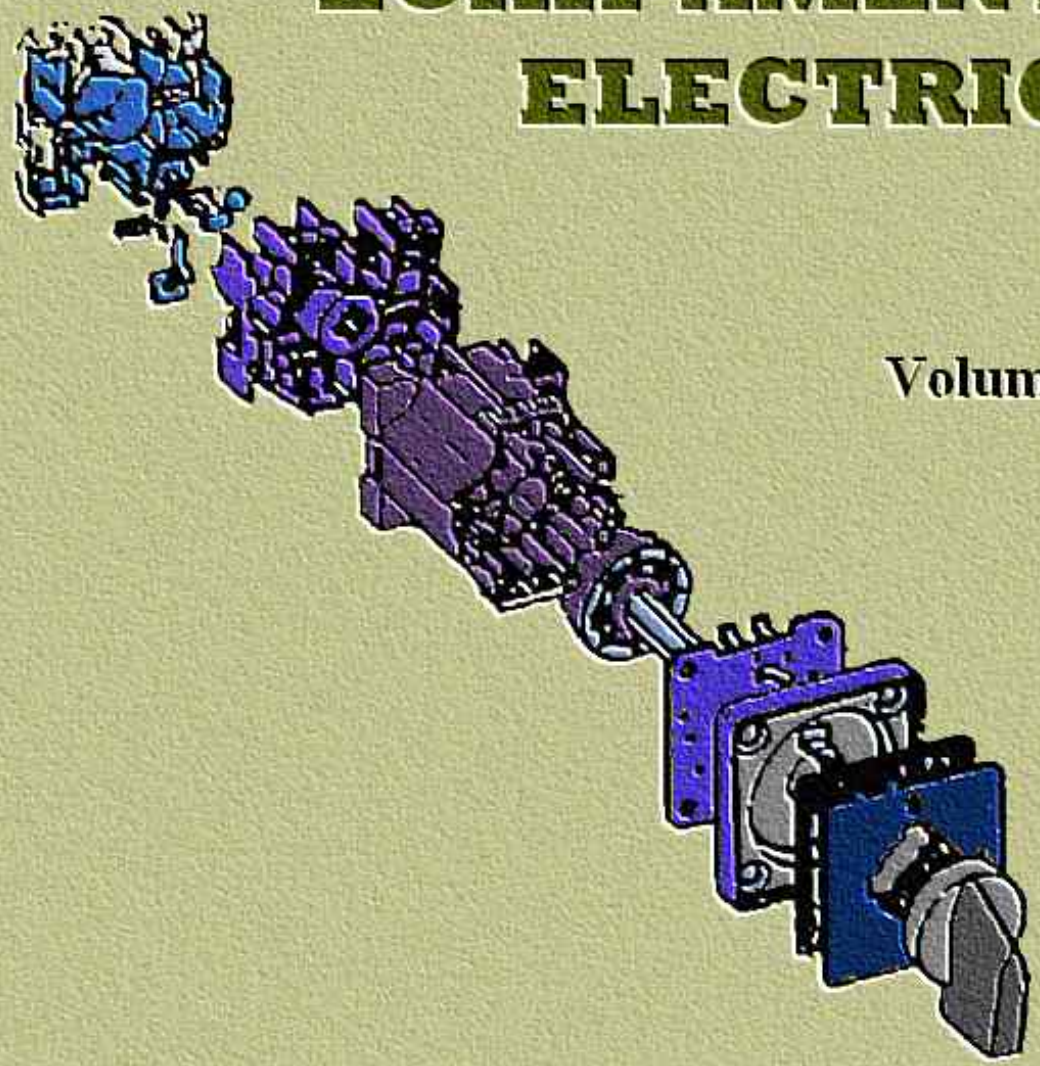
Popescu Lizeta

ECHIPAMENTE ELECTRICE



Volumul II

Editura "ALMA MATER"
Sibiu 2008

POPESCU LIZETA

ECHIPAMENTE ELECTRICE

Volumul II

Editura ”ALMA MATER”
Sibiu 2008

Cursul de **ECHIPAMENTE ELECTRICE** se adresează, în special studenților de la secția de Inginerie Electrică, dar şi celorlalți studenți ai facultăților de profil tehnic care doresc să cunoască fenomenele de comutație şi protecție electrică.

Noțiunea de echipament electric este foarte largă şi se pretează la numeroase interpretări; de aceea trebuie să precizăm că în domeniul Electrotehnicii prin echipament electric înțelegem dispozitivele destinate comutației electrice, protecției consumatorilor electrici şi unele dispozitive folosite în acționările electrice.

Transferul de energie electrică de la locul de producere la locul de utilizare se realizează prin intermediul rețelelor electrice. Atât la producătorii de energie electrică cât şi în rețelele de transport, dar mai ales la consumatorii industriali sau casnici sunt utilizate aparate şi echipamente electrice de comutație şi protecție.

Definind un echipament de comutație ca un ansamblu de dispozitive electromecanice sau electrice cu ajutorul cărora se stabilesc sau se întrerup circuitele electrice, rezultă că din punct de vedere structural echipamentele de comutație se împart în două mari categorii:

– echipamente de comutației mecanică, ce au cel puțin un element mobil pe durata efectuării comutației. La rândul lor aceste aparate pot fi:

a) **neautomate**, cum ar fi: întrerupătoarele şi comutatoarele cu pârghie, întrerupătoarele şi comutatoarele pachet, butoane de acționare, întrerupătoare basculante, separatoare şi controlere;

b) **automate** din care amintim: contactoarele, întrerupătoarele de joasă şi înaltă tensiune şi separatoare de scurtcircuitare;

–**echipamente cu comutație statică**, ce nu au componente în mişcare iar conectarea sau deconectarea este comandată şi realizată electronic. Această categorie de aparate de comutație se realizează cu dispozitive semiconductoare de putere ca: diode, tiristoare, triacuri sau tranzistoare de putere.

În afara echipamentelor de comutație există o categorie largă de **echipamente electrice de protecție**, cu rolul de a proteja generatoarele electrice, liniile electrice, transformatoarele şi consumatorii împotriva suprasarcinilor, supracurenților, scurtcircuitelor, supratensiunilor sau a oricăror regimuri anormale de funcționare. Din categoria echipamentelor electrice de protecție fac parte: siguranțele fuzibile, releele de protecție, declanşatoarele, bobinele de reactanță, eclatoarele şi descărcătoarele.

În volumul doi alk cursului de **Echipamente Electrice** sunt prezentate principalele tipuri de aparate şi echipamente electrice de comutaţie şi protecţie de joasă, medie şi înaltă tensiune, precum şi echipamentele electrice pentru pornirea şi reglarea turaţiei maşinilor electrice.

Mulţumesc pentru sprijinul primit la realizarea acestui curs din partea colegilor şi a colaboratorilor.

Autorul

CUPRINS

1. APARATE ELECTRICE NEAUTOMATE
1.1. CLASIFICAREA APARATELOR ELECTRICE NEAUTOMATE
1.2. CARACTERISTICILE TEHNICE ALE APARATELOR ELECTRICE NEAUTOMATE1.3. SEPARATOARE DE JOASĂ TENSIUNE
1.4. ÎNTRERUPĂTOARE ŞI COMUTATOARE CU PÂRGHIE
1.5. ÎNTRERUPĂTOARE ŞI COMUTATOARE TIP PACHET
1.6. ÎNTRERUPĂTOARE ŞI COMUTATOARE BASCULANTE
1.7. LIMITATOARE DE CURSĂ ŞI MICROÎNTRERUPĂTOARE
1.8. BUTOANE, CHEI DE COMANDĂ ŞI LĂMPI
1.9. PRIZE, FIŞE, CUPLE ŞI CONECTOARE
1.10. REOSTATE INDUSTRIALE
1.11. APARATE PENTRU COMANDA MANUALĂ A MOTOARELOR
TEST DE VERIFICARE A CUNOŞTINȚELOR
2. ECHIPAMENTE ELECTRICE DE COMUTAȚIE DE JOASĂ TENSIUNE
2.1. CONTACTOARE ELECTROMAGNETICE
2.1.1. Clasificarea contactoarelor electromagnetice
2.1.2. Contactoare electromagnetice de curent alternativ
2.1.3. Contactoare de curent continuu
2.1.4. Comanda contactoarelor electromagnetice
2.2. CONTACTOARE STATICE
2.2.1. Contactoare statice de curent alternativ
2.2.2. Contactoare statice de curent continuu
2.2.3. Contactoare hibride
2.3. RELEE INTERMEDIARE
2.3.1. Relee miniaturizate
2.3.2. Relee Reed
2.4. ÎNTRERUPĂTOARE AUTOMATE DE JOASĂ TENSIUNE
2.4.1. Clasificarea întrerupătoarelor automate de joasă tensiune
2.4.2 Elementele construcxtive ale întrerupătoarelor automate
2.4.3. Întrerupătoare automate de c.a.
2.4.4. Întrerupătoare automate de c.c.
2.5. DISJUNCTOARE
TEST DE VERIFICARE A CUNOŞTINȚELOR

3. APARATE ELECTRICE DE PROTECȚIE
3.1. SIGURANȚE FUZIBILE
3.1.1. Principiul de funcționare al siguranțelor fuzibile
3.1.2. Mărimile caracteristice ale siguranțelor fuzibile
3.1.3. Siguranțe fuzibile de joasă tensiune
3.1.4. Siguranțe fuzibile de medie şi înaltă tensiune
3.2. RELEE DE PROTECȚIE
3.2.1. Clasificarea releelor de protecție
3.2.2. Caracteristicile releelor de protecție.
3.2.3. Relee termobimetalice
3.2.3.1. Principiul de functionare al releelor termobimetalice
3.2.3.2. Caracteristica de protecție a releului termobimetalic
3.2.3.3. Variante constructive de relee termobimetalice
3.2.3.4. Calculul lamelei termobimetalice
3.2.4. Relee electromagnetice
3.2.4.1. Relee electromagnetice maximale de curent
3.2.4.2. Relee electromagnetice de tensiune
3.2.5. Relee de inducție
3.2.5.1. Relee de inducție cu rotor disc
3.2.5.2. Relee de inducție cu rotor cilindric
3.2.6. Relee Buchholtz
3.3. DECLANŞATOARE.
3.4. DESCĂRCĂTOARE
3.4.1. Eclatoare electrice
3.4.2 Principiul de funcționare al descărcătoarelor electrice
3.4.3. Variante constructive de descărcătoare
3.4.4. Mărimile caracteristice ale unui descărcător
3.5. RELEE DE TIMP
3.5.1.Clasificarea releelor de temporizare
3.5.2.Variante constructive de relee electromagnetice de temporizare
3.5.3. Relee de timp electrice
3.5.4. Relee electronice de temporizare
TEST DE VERIFICARE A CUNOŞTINȚELOR
4 APARATE DE COMUTAȚIE DE MEDIE ŞI ÎNALTĂ TENSIUNE
4.1. SEPARATOARE DE MEDIE TENSIUNE
4.1.1. Clasificarea separatoarelor.
4.1.2. Principalele variante constructive ale separatoarelor de medie tensiune

4.2. SEPARATOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE
4.2.1.Clasificarea separatoarelor de înaltă tensiune
4.2.2. Separatoare rotative
4.2.3. Separatoare de translație
4.2.4. Separatoare pantograf
4.2.5.Separatoare de secționare şi punere la pământ
4.3. CONTACTOARE DE MEDIE TENSIUNE
4.3.1. Contactoare de medie tensiune în vid
4.4. ÎNTRERUPĂTOARE DE MEDIE TENSIUNE
4.4.1. Întrerupătoare cu vid
4.4.2. Mecanisme de acționare a întrerupătoarelor de medie tensiune
4.5. ÎNTRERUPĂTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE
4.5.1. Întrerupătoare cu ulei
4.5.2. Întrerupătoare cu hexafluorură de sulf
TEST DE VERIFICARE A CUNOŞTINȚELOR
5. PROTECȚIA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE
5.1. PROTECȚIA MOTOARELOR ELECTRICE
5.1.1. Comanda şi protecția motoarelor asincrone cu conectare directă la rețea
5.1.2. Comanda cu inversare de sens şi protecția unui motor asincron
5.1.3. Comanda şi protecția unui motor asincron cu pornire stea-triunghi
5.1.4. Comanda şi protecția unui motor asincron cu pornire cu reostate statorice
5.1.5. Comanda şi protecția unui motor asincron pornit cu autotransformator
5.1.6. Comanda şi protecția unui motor asincron pornit cu rezistențe rotorice
5.1.7.Protecția minimală de tensiune a motoarelor electrice
5.1.8. Protecția motoarelor asincrone de putere la scurtcircuite polifazate
5.1.9. Protecția diferențial longitudinală a motoarelor sincrone de putere
5.2. PROTECȚIA GENERATOARELOR SINCRONE
5.2.1. Protecția diferențială longitudinală a unui generator sincron
5.2.2. Protecția împotriva scurtcircuitelor rotorice a generatoarelor sincrone
5.2.3. Protecția maximală cu tăiere de curent a unui generator sincron

5.2.4. Protecţia prin bobine de reactanţă a generatoarelor sincrone
5.3. PROTECŢIA TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE
5.3.1. Protecţia de gaze a transformatoarelor în ulei
5.3.2. Protecţia diferenţial longitudinală a unui transformator
5.3.3. Protecţia maximală de curent cu blocaj de tensiune minimă a unui transformator
5.4. PROTECŢIA REŢELELOR ELECTRICE
5.4.1. Protecţia maximală de curent a liniilor electrice radiale
5.4.2. Protecţia maximală de curent temporizată a liniilor electrice radiale
5.4.3. Protecţia maximală de curent direcşională a liniilor electrice cu alimentare bilaterală
5.4.4. Protecţia de distanţă a reţelelor electrice complexe
5.5. AUTOMATIZAREA SISTEMELOR ENERGETICE
5.5.1. Reanclanşarea Automaztă Rapidă (RAR)
5.5.2. Anclanşarea automată a Rezervei (AAR)
5.5.3. Descărcarea Automată a Sarcinii la Scăderea Frecvenţei
5.5.4. Descărcarea Automată a Sarcinii la Scăderea Tensiunii
5.6. PROTECŢII NUMERICE A REŢELELOR ELECTRICE
5.6.1. Funcţiile protecţiilor numerice a reţelor
5.6.1.1. Funcţia „protecţie de distanţă“
5.6.1.2. Funcţia de supraveghere a circuitelor de tensiune
5.6.1.3. Funcţia de accelerare a protecţiei la conectarea pe defect
5.6.1.4. Funcţia de protecţie maximală de curent instantanee
5.6.1.5. Funcţia de protecţie homopolară de curent direcţionată
5.6.1.6. Funcţia de locator de defecte
5.6.1.7. Funcţia de înregistrator secvenţial de evenimente
5.6.1.8. Funcţia RAR
5.6.1.9. Funcţia de protecţie maximală de tensiune
5.6.1.10. Funcţii de supraveghere sistem
5.6.1.11. Funcţia de interfaţare cu operatorul
5.7. PROTECŢIA INTEGRATĂ A REŢELELOR ELECTRICE
5.7.1 Protecţia integrată a unei linii electrice cu releul DIPA 100
5.7.2. Caracteristici tehnice generale ale DIPA 100
5.8. SISTEME SCADA SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION
5.8.1. Funcţiile de bază ale sistemului SCADA
5.8.1.1. Supravegherea şi controlul de la distanţă
5.8.1.2. Alarmarea
5.8.1.3.Analiza post avarie
5.8.1.4.Urmărirea încărcării reţelelor

5.8.1.5.Planificarea şi urmărirea reviziilor şi reparațiilor în scopul evitării căderilor
5.8.2. Funcții EMS Energy Management System
5.8.3. Funcții DMS
TEST DE VERIFICARE A CUNOŞTINȚELOR
BIBLIOGRAFIE

1. APARATE ELECTRICE NEAUTOMATE

Aparatele electrice neautomate sunt destinate conectării şi deconectării circuitelor electrice de curent continuu sau alternativ de joasă tensiune. Ele au următoarele caracteristici:

– acţionare manuală atât la închidere cât şi la deschidere;

– nu au elemente de protecţie, măsurare şi reglaj;

– nu pot întrerupe curenţi de serviciu mai mici sau egali cu curentul nominal;

– nu au rolul şi nu pot să întrerupă curenţii mari de suprasarcină sau de scurtcircuit;

– au o manevrare rară, cu o frecvenţă redusă de conectare;

– sunt acţionate manual, atât la deschidere cât şi la închidere.

Din această categorie de aparate fac parte: – separatoarele, întrerupătoarele şi comutatoarele cu pârghie, întrerupătoarele şi comutatoarele pachet, prizele şi fişele industriale, conectoarele, limitatoarele de cursă; microîntrerupătoarele; precum şi echipamentul electric folosit la pornirea şi reglarea manuală a turaţiei maşinilor electrice (inversoare de sens, comutatoare Stea – Triunghi, controlere, manipulatoare, limitatoare de cursă şi reostatele).

1.1. CLASIFICAREA APARATELOR ELECTRICE NEAUTOMATE

Aparatele electrice de joasă tensiune sunt aparate ce se construiesc pentru tensiuni nominale ce nu depăşesc 1000V curent alternativ şi 1200V curent continuu. Se realizează într-o mare varietate de tipuri şi se folosesc nu numai în centrale şi staţii electrice, ci şi in sectorul casnic pe scara foarte largă.

Clasificarea aparatelor neautomate de joasă tensiune se poate face după mai multe criterii:

A) După **funcţia de utilizare** aparatele electrice se pot clasifica astfel:

a) Aparate electrice industriale, destinate instalaţiilor electrice industriale de putere:

– pentru comanda motoarelor electrice: comutator Stea - Triunghi, inversor de sens, comutator de poli, reostat de pornire şi reglaj, reostat de excitaţie, controlere.

– pentru acționări: butoane, chei, întrerupătoare, comutatoare.

– pentru semnalizare avem: lămpi, hupe, sonerii.

b) Aparate pentru instalații, aparate destinate instalațiilor electrice de mică putere:

– întrerupătoare folosite în circuite de lumină, aparate de încălzit sau motoare mici;

– comutatoare folosite in circuite de lumină, de capăt, de hotel, cruce, scară);

– prize fixe şi mobile;

– cuple;

– butoane pentru sonerii şi lumină.

B) După **felul curentului**: aparate de curent continuu şi aparate de curent alternativ, iar cele de curent alternativ pot fi monofazate sau trifazate.

C) După **tensiunea nominală** standardizată sub 1000V curent alternativ şi 1200V curent continuu sunt:

– în curent alternativ: 24, 48, 127, 220, 400, 660, 1000 Vc.a.

– în curent continuu: 24, 48, 125, 400, 800, 1200 Vc.c.

D) După **curenții nominali** standardizați sunt: 3, 6, 10, 16, 25, 32, 40, 63, 80, 100, 160, 200, 315, 400, 630, 1600, 2000, 2500, 3150 A

Din punct de vedere al protecției muncii, aparatele cu tensiunea nominală mai mare de 48 V sunt considerate potențial periculoase şi deci trebuie să corespundă normelor de protecția muncii.

Fiecare aparat din cele enumerate prezintă o bogată varietate de tipuri constructive apărute ca urmare a funcțiilor pe care trebuie să le satisfacă, precum şi a condițiilor mediului în care va funcționa.

1.2. CARACTERISTICILE TEHNICE ALE APARATELOR ELECTRICE NEAUTOMATE

Funcționarea aparatelor electrice neautomate este posibilă numai în condițiile tehnice date de parametrii electrici şi mecanici nominali, pentru care aceste aparate au fost construite. Dacă este necesară modificarea unuia dintre aceşti parametrii trebuie ales un aparat cu alte caracteristici electrice şi constructive.

Valorile pentru care au fost calculate aparatele se numesc **valori nominale,** iar valorile la care se folosesc aparatele şi care sunt mai mici sau egale cu aceste valorile nominale se numesc **valori de serviciu**. Pentru a se evita însă construirea unei varietăți prea mari de aparate, în funcție de valorile

necesare s-a standardizat o gamă de valori care satisfac cerinţele industriei.

Cele mai importante caracteristici tehnice ale aparatelor electrice sunt:

A. Tensiunea nominală: este tensiunea la care este posibilă funcţionarea aparatului sau tensiunea maximă a reţelei la care funcţionarea are loc fără pericol de distrugere a aparatului. Această condiţie determină materialele electroizolante folosite la construcţia aparatului, distanţa dintre contacte etc. Din acest punct de vedere aparatele vor putea lucra şi la tensiuni mai mici, adică la tensiuni de serviciu.

Valorile nominale ale tensiunilor sunt:

– în curent continuu: 24, 48, 110 (125), 230 (250), 440, 600, 800 (750), 1200 Vc.c.

– în curent alternativ: 24, 36, 48, (42), 110, (127), 230 (250), 400, 660 (500), 1000 Vc.a..

B. Curentul nominal reprezintă valoarea intensităţi curentului care poate trece prin aparat un timp nedefinit de lung fără deteriorarea acestuia, sau pentru care funcţionarea aparatului este optimă (în cazul bobinelor de acţionare etc.).

Intensitatea curentului determină secţiunea conductoarelor şi a contactelor aparatului. Din această cauză utilizarea aparatului la intensităţi ale curentului de serviciu cu mult mai mici decât valoarea nominală este iraţională. În standarde se stabilesc următoarele valori ale intensităţilor curenţilor electrici pentru care se construiesc aparatele electrice de joasă tensiune: 6, 10, 16, 32, 40, 80, 100, 160, 200, 250, 315, 400, 630, 1000, 1600, 2000, 2500, 3150A.

În general aparatele admit o suprasarcină care este limitată valoric (şi în timp) de condiţiile de răcire. Această suprasarcină se numeşte curent limită termic şi se referă la o durată de o secundă (sau altă valoare precizată).

C. Rezistenţa la uzură mecanică este o caracteristică pur mecanică şi determină numărul de manevrări pentru care funcţionarea este garantată, deci şi timpul după care un aparat va trebui să fie înlocuit Rezistenţa mecanică este indicată sub forma numărului de cicluri sau manevrări (conectare-deconectare). Această caracteristică este indicată pentru principalele tipuri de aparate, după cum urmează:

– întrerupătoare şi comutatoare rotative 20.000 cicluri

– întrerupătoare pachet 10.000 cicluri

– prize şi fişe industriale 1.000 cicluri

– comutatoare stea-triunghi manuale 10.000 cicluri

D. Frecvenţa de conectare reprezintă numărul maxim posibil de manevrări la tensiune şi intensitatea nominală, în unitatea de timp (oră,

minut). Aparatele electrice sunt împărțite după frecvența de conectare în 5 clase, după cum urmează:

– clasa I - până la 30 acționări pe oră;
– clasa II- până la 150 acționări pe oră;
– clasa III - până la 600 acționări pe oră;
– clasa IV - până la 1200 acționări pe oră;
– clasa V - până la 3000 acționări pe oră.

E. Durata de funcționare reprezintă timpul, exprimat în procente, din durata totală a unui ciclu de lucru în care aparatul se găseşte sub tensiune. Această durată condiționează încălzirea aparatului. Sunt normalizate următoarele durate relative de funcționare: 15%, 25%, 40%, 60%, 100%. Din punct de vedere al duratei de conectare deosebim trei servicii de funcționare:

– **serviciul de scurtă durată** (temporar), corespunzător conectării pentru scurt timp şi deconectării îndelungate (cazul reostatelor de pornire, butoanele de comandă etc.);

- **serviciul intermitent** (conectări şi deconectări frecvente);

- **serviciul de durată**, când aparatul este conectat vreme îndelungată (cazul separatoarelor)

F. Capacitatea de rupere reprezintă valoarea maximă (efectivă) a curentului pe care îl poate întrerupe aparatul fără a se deteriora. Ea poate fi nulă (separatoare), egală cu curentul nominal (întrerupătoare cu pârghie) sau mai mare decât curentul nominal.

G. Capacitatea de închidere este curentul maxim care se poate stabili prin aparat. Deoarece majoritatea consumatorilor de curent electric absorb la pornire un curent mare, aparatele vor trebui să suporte curenți de scurtă durată mai mari decât curenții nominali. Din acest punct de vedere aparatele pot fi:cu capacitate de închidere mai mică, egală, sau mai mare decât curentul nominal. În general, capacitatea de închidere este mai mare decât cea de rupere.

H. Gradul de protecție în cazul aparatelor electrice, reprezintă gradul de siguranță împotriva pătrunderii corpurilor străine sau a apei în interiorul lor. Acest lucru se menționează printr-un indicativ format din literele I.P. urmate de trei cifre: prima se referă la protecția contra atingerilor pieselor sub tensiune, a doua la protecția contra pătrunderii apei, iar a treia la protecția împotriva deteriorărilor mecanice.

În cazul în care utilajul prezintă protecție specială (de exemplu protecție antiexplozivă), se face o mențiune specială în acest sens. Dacă unele părți ale aparatului electric, sau ale maşinii electrice se execută la un alt grad de protecție, se indică mai întâi gradul de protecție pentru întregul ansamblu

urmat de gradul de protecție pentru partea diferit protejată, menționându-se şi partea constructivă la care se referă această indicație. Cea de-a treia cifră se indică doar în cazul aparatelor electrice (de exemplu I.P.332).

Tabelul 1.1. Gradele de protecție împotriva atingerii pieselor sub tensiune şi a pătrunderii corpurilor străine

Simbol	Protecția contra atingerilor	Protecția contra pătrunderii corpurilor străine
0	Fără protecție	Fără protecție
1	Protecție împotriva atingerii cu o suprafață mare a minii	Fără protecție pentru corpuri străine mari (sub 50 mm)
2	Protecție la atingerea cu degete	Idem pentru mijlocii (sub 12 mm)
3	Protecție contra atingerii cu unelte peste 2,5 mm	Fără protecție la corpuri sub 2,5 mm
4	Protecție contra atingerii cu obiecte peste 1 mm	Fără protecție contra corpurilor sub 1 mm
5	Protecție contra atingerii cu orice fel de mijloace	Protecție parțială contra prafului
6	Idem	Protecție totală contra prafului

În tabelele 1.1. şi 1.2. sunt prezentate cele mai utilizate grade de protecție împotriva atingerii şi pătrunderii corpurilor străine şi a apei, precum şi tabelul cu gradele de protecție împotriva deteriorărilor mecanice (numai pentru aparate electrice). Indicația referitoare la gradul de protecție se plasează într-un loc vizibil, de regulă pe plăcuța indicatoare, alături de alte caracteristici ale aparatului.

Tabelul 1.2. Gradele de protecție contra pătrunderii lichidelor

Simbol	Gradul de protecție
0	Fără protecție
1	Protecție contra picăturilor de apă condensată
2	Protecția contra picăturilor de lichide ce cad sub un unghi de maxim 15° față de verticală
3	Protecție contra ploii
4	Protecția contra stropirii cu lichide
5	Protecția contra apei sub formă de jet
6	Protecția împotriva condițiilor de pe puntea navelor
7	Protecția împotriva scufundării în lichid
8	Protecția împotriva scufundării în apă sub presiune

1.3. SEPARATOARE DE JOASĂ TENSIUNE

Separatoarele de joasă tensiune servesc la separarea vizibilă a unui circuit, pentru efectuarea unor operaţiuni de revizie sau reparaţii ce nu se pot executa sub tensiune. Ele pot întrerupe doar circuite aflate sub tensiune, dar neparcurse de curent.

Deoarece în poziţia închis separatoarele sunt parcurse de curent nominal, presiunea de contact realizată de contactul fix pe cuţitul de contact trebuie să asigure o rezistenţă de contact cât mai redusă. Întrucât separatoarele se închid şi se deschid când prin circuit nu trece curent, nu se formează arc electric între contactele separatorului şi de aceea nu sunt prevăzute cu camere de stingere. Separatoarele nu pot asigura protecţia la supracurent a consumatorilor, drept care este necesar un aparat suplimentar (siguranţă fuzibilă sau întrerupător automat).

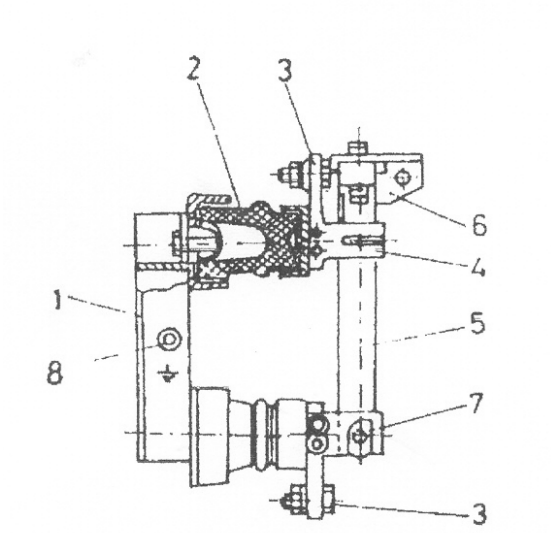


Figura 1.1. Separator tip cuţit
1 - cadru metalic; 2 - izolatoare suport; 3 - borne de legătură;
4 - contact fix; 5 - contact mobil; 6 - urechea de acţionare; 7 – ax;
8 – bornă de legare la pământ.

Separatoarele de joasă tensiune sunt de regulă de tip interior, se montează vertical şi se acţionează manual. Separatoarele lucrează în poziţie închis în regim de lungă durată (adică durata relativă de conectare este 100%), fiind echipate cu contacte inoxidabile de mare presiune. Pentru a compensa forţele de repulsie dintre contacte, la valori semnificative ale curentului (în caz de scurtcircuit) unele separatoare sunt prevăzute cu mai multe cuţite (căi de curent) în paralel. Separatoarele de joasă tensiune monopolare, bipolare şi tripolare de construcţie românească au următoarele caracteristici: U_N = 500 şi 1000V; I_N = 200, 350, 600 sau 1000 A.

1.4. ÎNTRERUPĂTOARE ŞI COMUTATOARE CU PÂRGHIE

Întrerupătoarele şi comutatoarele cu pârghie sunt aparate neautomate care se utilizează în circuite de iluminat sau forţă, de curent continuu şi alternativ. Piesa mobilă de contact este de forma unui braţ de pârghie, de unde le provine şi numele (se mai numesc şi hebluri). Comutaţia are loc sarcină şi sunt necesare camere de stingere, construite din azbociment şi prevăzute cu grătare din materiale feromagnetice (care folosesc principiul divizării arcului, în cazul aparatelor de curent alternativ) sau cu şicane electroizolante (care folosesc principiul deion în cazul aparatelor de curent continuu).

Cuţitele de contact sunt acţionate direct sau printr-un sistem de pârghii. La întreruperea curenţilor intenşi, viteza de deplasare a arcului electric are loc sub acţiunea autosuflajului electrodinamic, forţa fiind proporţională cu pătratul curentului din circuit (şi nu este influenţată de alungirea mecanică). În cazul curenţilor de intensitate redusă, viteza de deplasare a pieselor mobile de contact are un rol determinant, pentru că forţele electrodinamice au valori reduse. În acest caz, trebuie mărită viteza de îndepărtare a pieselor de contact şi se folosesc contacte de rupere, în paralel cu contactele principale.

Întrerupătoarele cu curenţi nominali mai mici de 500 A au piesele mobile ale contactelor de rupere în formă de cuţit acţionate prin resoarte prinse de piesele mobile ale contactelor principale.

În figura 1.2. este prezentat un **întrerupător cu pârghie** şi respectiv un **comutator cu pârghie**.

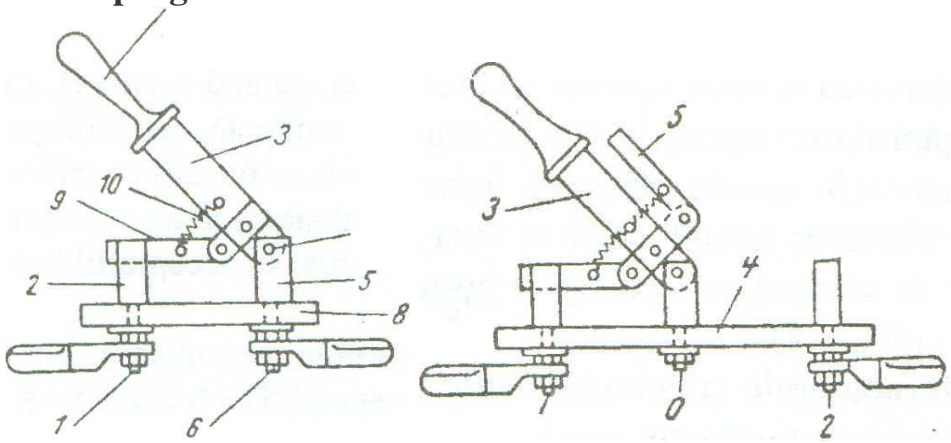


Figura 1.2. Întrerupător şi comutator cu pârghie
1, 6-bome; 2-piesa fixă de contact; 3-cuţit principal; 4-ax;
5-portpiesă de contact; 7-mâner; 8-platou; 9-cuţit de rupere; 10-resort

După deschiderea fără arc electric a contactelor principale, resoartele se întind şi determină accelerarea pieselor mobile ale contactelor de rupere. Comutatoarele au două rânduri de piese fixe de contact, astfel încât deschiderea primului rând de contacte este urmată de închiderea celuilalt rând de contacte şi invers.

La **întrerupătoarele cu pârghie tripolare**, de multe ori maneta de acționare este poziționată lateral aşa cum este prezentată în figura 1.3.

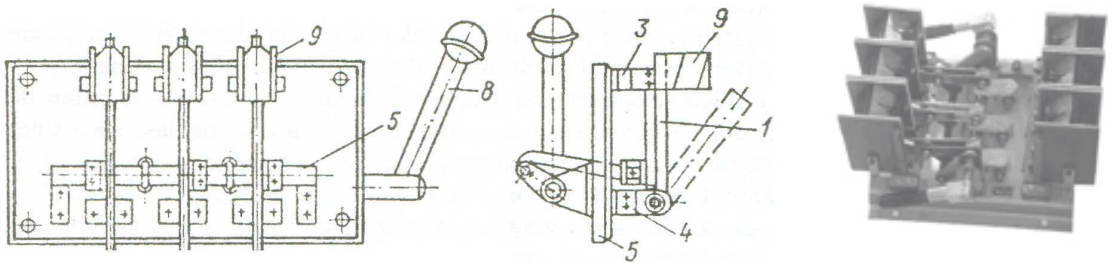


Figura 1.3. Întrerupător cu pârghie tripolar:
l-piese mobile de contact; 3-piese fixe de contact;
4-portpiese fixe de contact cu ax; 5-platou; 8-maneta de acționare;
9-dispozitiv de stingere a arcului electric.

Acționarea acestor aparate se face manual, putând fi directă (când întrerupătorul este aşezat în fața tabloului), sau indirectă, când întrerupătorul este aşezat în spatele tabloului.

Întrerupătoarele se fixează pe tablou astfel ca deschiderea circuitului să se facă prin acționarea în jos a manetei. Rețeaua de alimentare se leagă la bornele de sus, iar receptorul la bornele de jos.

Întrerupătoarele şi comutatoarele cu pârghie monopolare, bipolare şi tripolare de construcție românească au următoarele caracteristici:

– pentru aparatele de curent alternativ: U_N= 400 V, 500 V sau 660 V; I_N = 25 A, 63 A, I00A, 200 A, 350 A, 600 A, 1000 A

– pentru aparatele de curent continuu: U_N, =175 V, 230 V, 440V; I_N = 200 A, 350 A, 600 A, 1000 A.

După modul de protejare a aparatului, există următoarele tipuri de întrerupătoare cu pârghie

a. Întrerupătoare în **execuție neprotejată**, utilizate până la 230 V.

b.Întrerupătoare în **execuție protejată** contra atingerilor accidentale, pentru tensiuni de 380 V şi 500 V şi curenți de peste 400 A. Aceste întrerupătoare sunt protejate printr-un capac de protecție din material electroizolant (carton, preşpan sau bachelită).

c. Întrerupătoare în **execuție închisă** în cutii metalice, pentru tensiuni de 380 V şi 500 V şi curenți de până la 400 A. Cutiile de distribuție pot conține pe lângă întrerupător şi siguranțe fuzibile, relee, diferite aparate de măsură ca ampermetre, voltmetre, wattmetre.

d. Întrerupătoare în **execuție capsulată**, care se folosesc în aer liber, în încăperi umede, în atmosferă încărcată cu diferiți vapori combustibili (amoniac, acizi etc.), în încăperi cu praf şi murdărie sau cu pericol de explozie. La aceste întrerupătoare, capacele cutiilor şi intrările conductoarelor în cutie sunt etanşate ermetic.

1.5. ÎNTRERUPĂTOARE ŞI COMUTATOARE TIP PACHET

Întrerupătoarele şi comutatoarele pachet (cu came) sunt aparate neautomate care se utilizează în circuitele de comandă (în care intensitățile curenților sunt mai mici decât 100 A), de curent continuu sau alternativ şi în circuitele de automatizare unde se cer funcții de comutare complexe.

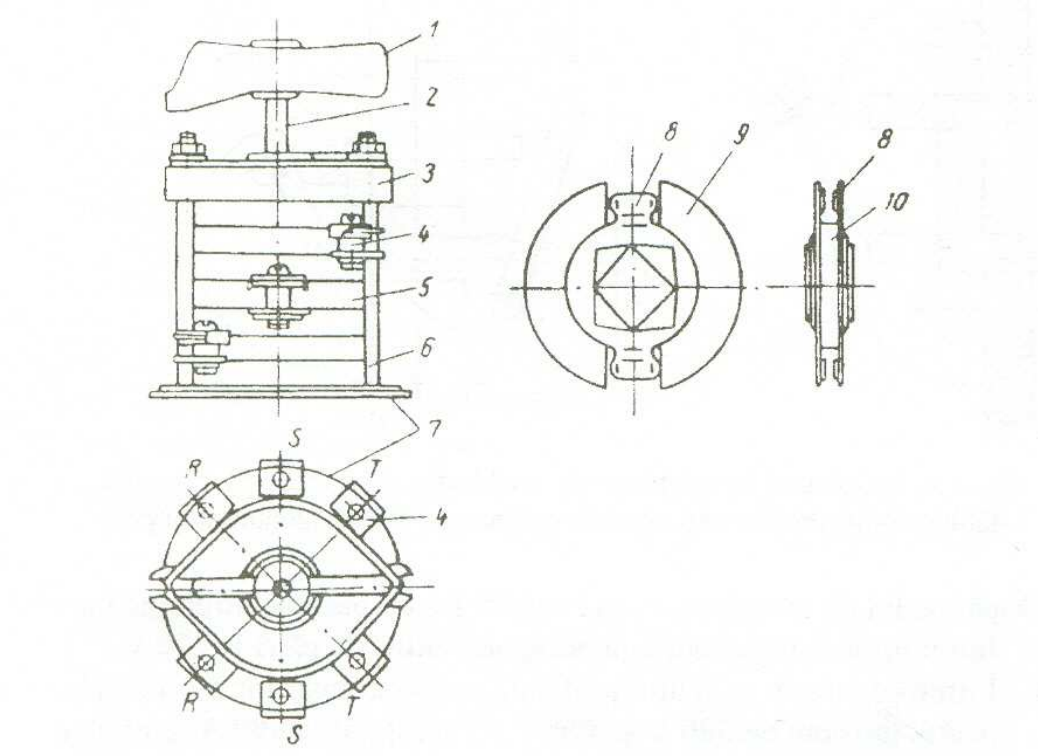


Figura 1.4. Întrerupător pachet tripolar
1- maneta de acționare; 2-ax de acționare; 3-mecanism de sacadare; 4-borne; 5-disc electroizolant; 6-tiranți; 7-placă metalică de fixare; 8-piese mobile de contact; 9-izolație de pertinax; 10-distanțor din pertinax.

Întrerupătoarele şi comutatoarele pachet se folosesc la joasă tensiune şi sunt acționate manual. Ele se caracterizează prin faptul că ansamblul aparatului se obține prin înşiruirea pe acelaşi ax a unui număr variabil de elemente (pachete) de construcție similară, fiecare element cuprinzând o cale de curent. Întrerupătoare şi comutatoarele cuprind o serie de discuri de bachelită suprapuse pe care sunt montate contactele fixe.

Contactele mobile din material conductor, sunt aşezate pe un ax central şi se deplasează solidar cu aceasta în timp ce un sistem de sacadare realizează întreruperea bruscă, independent de viteza cu care este acționată maneta.

Deoarece aceste întrerupătoare au avantajul unei construcții compacte şi fiabile sunt folosite pentru comanda circuitelor electrice ale maşinilor, ca întrerupătoare şi comutatoare pe panouri şi pupitre de comandă şi ca întrerupătoare capsulate împotriva prafului şi umidității.

Întrerupătoarele şi comutatoarele pachet au următoarele **c**aracteristici tehnice:

– tensiunea nominală şi tensiunea de lucru în c.a. 400V şi c.c.230V
– curentul nominal în c.a. şi c.c. 6A, 10A, 25A, 40A, 63A şi 100A.
– frecvența rețelei în c.a. 50Hz,
– durata de viață mecanică în c.a. şi c.c. 20 000 schimbări de poziție.
– frecvența de conectare în c.a. şi c.c. 30 conectări/h.
– tensiunea de încercare în c.a. 418 V iar c.c. 242 V.
– pauzele între două cicluri în c.a. şi c.c. 10s.
– tipul protecției I.P.000.
– poziția de montare: oarecare.

Principalele avantaje tehnice ale acestor întrerupătoare sunt: flexibilitatea funcțiilor de comutație, puterea de rupere suficient de mare la un gabarit relativ redus, posibilitatea de capsulare, funcționarea în orice poziție, stabilitatea la vibrații şi şocuri.

Figura 1.5. Întrerupătoare pachet

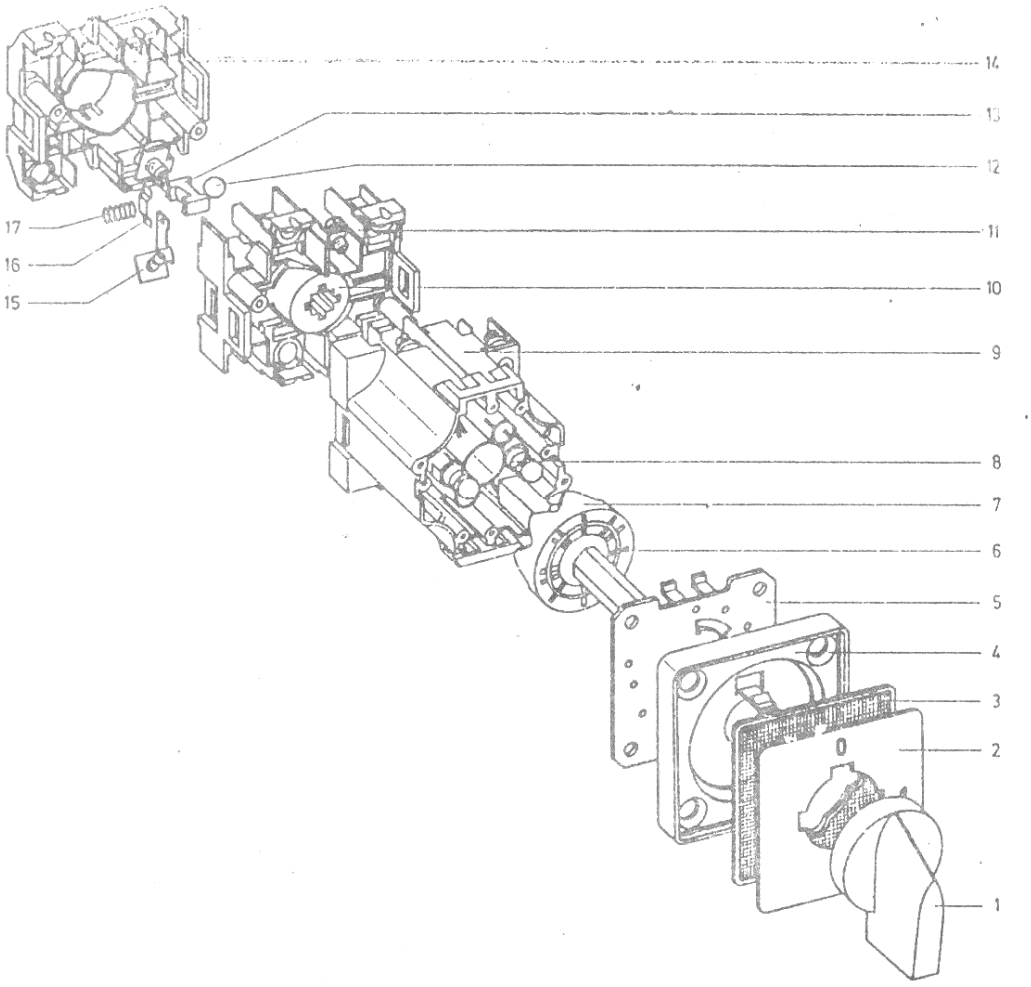


Figura 1.6. Reprezentarea desfăşurată a unui întrerupător pachet. 1-maneta de acționare, 2-placa de marcaj, 3-placa raster, 4-placa de acoperire, 5-suport de solidarizare, 6-ştift, 7, 8, 9,- dispozitivul de sacadare cu resort şi bilă, 10-cilindru de comandă, 11-camera de stingere, 12-sferă de sticlă, 13-tachet, 14-placă de acoperire, 15- şina de contact, 16-puntea de contact mobilă, 17-resort pentru asigurarea presiunii pe contact.

Întrerupătoarele şi comutatoarele pachet de construcție românească (corespund STAS 5414-83) au următoarele caracteristici tehnice:

– pentru aparatele de curent alternativ: $U_N = 400$ V;

la $I_N = 10$A, $I_{rup} = 6I_N$;

la $I_N = 25$ A, 63 A, $I_{rup} = 1{,}5I_N$, la $\cos\varphi > 0{,}4$;

– pentru aparate de curent continuu: $U_N = 250$ V;

$I_N = 10$A, 25 A, 63 A, $l_{rup} = I_N$.

Aceste întrerupătoare se realizează în construcție normală, etanşă şi antiexplozivă.

1. 6. ÎNTRERUPĂTOARE ŞI COMUTATOARE BASCULANTE

Întrerupătoarele şi comutatoarele basculante (cumpănă) realizează închiderea sau deschiderea circuitelor (în general de iluminat), prin apăsarea pe extremitățile unui buton (cumpănă) sau pe o mică manetă (basculant). Cu aceste aparate se pot realiza diferite scheme de conectare.

Întrerupătoarele şi comutatoarele cumpănă montate **sub tencuială** se utilizează în instalațiile electrice interioare de iluminat cu incandescență sau fluorescență. Se montează îngropat prin fixare în dozele de aparat. Un astfel de întrerupător basculant este prezentat în figura 1.7.

Figura 1.7. Întrerupător sau comutator cumpănă montat sub tencuială.

Caracteristicile tehnice ale întrerupătoarelor şi comutatoarelor cumpănă sau basculante de fabricație românească sunt prezentate mai jos.

– curentul nominal în c.a. 10A iar în c.c. 4A,
– frecvența rețelei în c.a. 50Hz,
– tensiunea nominală în c.a. 250V iar în c.c. 36V,
– durata de viață mecanică şi electrică în c.a. şi c.c. 50.000 manevre,
– curentul de conectare şi deconectare în c.a. 10A iar în c.c. 4A,
– tensiunea de lucru în c.a. 230V iar în c.c. 36V
– tensiunea de încercare în c.a. 242V iar în c.c. 36V,
– tipul de protecție I.P.301,
– conductoare de legătură în c.a. min 1mm^2 iar în c.c. min 2,5mm^2,
– poziția de montare verticală.

1.7. LIMITATOARE DE CURSĂ ŞI MICROÎNTRERUPĂTOARE.

Din categoria aparatelor pentru automatizări unele dintre cele mai des utilizate sunt limitatoarele de cursă şi microîntrerupătoarele. Limitatoarele de cursa se folosesc pentru reglarea lungimii cursei organelor mobile ale

maşinilor-unelte sau ale altor utilaje similare.

Ele se montează fie în circuitul principal, fie în cel de comandă.

După forma constructivă a elementului palpator limitatoarele de cursă pot fi: cu tijă, cu rolă, cu bilă, cu pârghie sau rotative.

Constructiv. ele pot fi de tipul cu contact mobil având un contact (NI sau ND) sau două contacte (NI şi ND), ori cu microîntrerupător încorporat, în construcţie capsulată sau deschisă. De obicei contactele sunt în aer, dar se construiesc şi limitatoare de cursă pentru puteri mari în ulei.

Pentru varianta în aer curentul nominal este de circa 6 A (la 500 V), iar în al doilea caz poate ajunge până 1a 60 A.

Figura 1.8. Variante constructive ale limitatoarelor de cursă.

Dacă viteza de deplasare a contacte1or mobile depinde de viteza de deplasare a organului mobil care acţionează asupra palpatorului atunci limitatorul este simplu.

Dacă viteza de deplasare a organu1ui care acţionează asupra palpatorului nu inf1uenţează viteza de comutare a contactelor, limitatorul este cu acţiune instantanee, adică el intră în acţiune instantaneu în momentul în care forţa exercitată asupra lui atinge o anumită valoare. Toate limitatoarele care au încorporate microîntrerupătoare sunt cu acţiune instantanee.

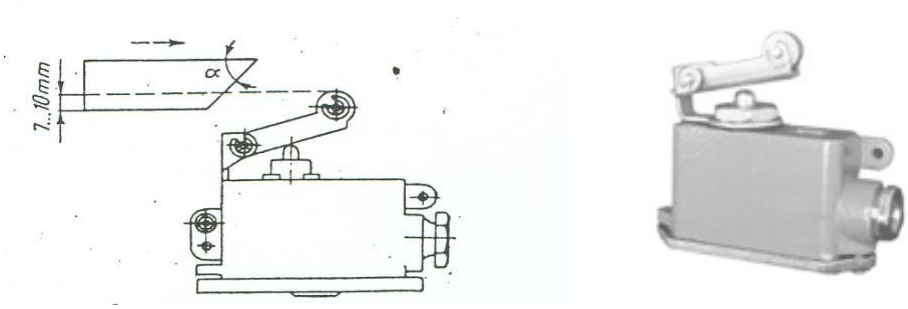


Figura 1.9. Limitator de cursă cu acţionare instantanee.

Pentru limitatorul de cursă din figura 1.9. acţionarea elementului mobil al limitatorului de cursă se face direct de către organul mobil sau de către o camă fixată pe organu1 mobil a cărui poziţie se poate regla. Unghiu1 α este

de circa 60 ... 65°. Limitatorul este prevăzut eu două perechi de contacte, 1 NI şi 1 ND care pot conecta curenţi de maximum 6A la o tensiune de 500V.

Microîntrerupătoarele sunt aparate neautomate foarte des utilizate în schemele de automatizare datorită gabaritului redus (adesea sub 20·15·6 mm), vitezei mari de răspuns la comanda primită, numărul mare de manevrări sub sarcină (5 ... 10 milioane), cursei mici a elementului mobil (0,2 ... 1,5 mm), forţei mici de acţionare (0,5 ... 3,7 N) etc.

Microîntrerupătoarele suportă curenţi nominali de 2 ... 8 A şi tensiuni de 125, 220, 380 V c.a. sau 48, 110 Vc.c..

Din punct de vedere constructiv un microîntrerupător se prezintă sub forma unei carcase prismatice din material electroizolant în interiorul căreia se găsesc contactele fixe şi contactul mobil dublu care se află pe un cadru elastic. Trecerea bruscă dintr-o poziţie în alta a contactului mobil se face cu ajutorul unui resort.

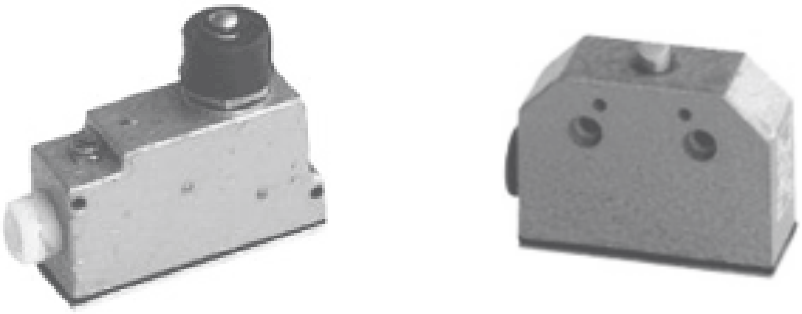


Figura 1.10. Variante constructive de microîntrerupătoare..

Acţionarea asupra lamelei elastice se face fie direct, fie prin intermediul unei tije, braţe, etc.

Microîntrerupătoarele se realizează şi în construcţie capsulată, în carcase din silumin sau zamac.

1.8. BUTOANE, CHEI DE COMANDĂ ŞI LĂMPI

Butoanele de comandă sunt aparate neautomate cu o singură poziţie de repaus, care se utilizează în circuitele de comandă ale acţionărilor electrice. Ele sunt prevăzute cu unul sau mai multe grupuri de contacte normal închise (de oprire) şi normal deschise (de pornire).

Butoanele de comandă se folosesc în instalaţiile de comandă şi atomatizare fiind destinate comenzii de la distanţă în special a contactoarelor şi releelor intermediare. Ele pot avea două butoane care închid sau deschid

contactele normal deschise NI, respectiv normal închise ND sau un singur buton.

Butoanele care au atât contacte NI cât şi ND, pot fii astfel folosite ca butoane de pornire sau/şi ca butoane de oprire.

Butoanele de comandă pot fi cu revenire sau cu reținere. Butoanele cu reținere rămân în poziția comandată şi după încetarea comenzii.

Există o varietate foarte mare de butoane. Dintre acestea cele mai utilizate sunt:

– buton de comandă cu reținere
– buton cu pipă
– buton ciupercă
– buton ciupercă cu reținere
– buton cu lampă etc.

Butoanele de comandă pot avea contactele neprotejate (vizibile) sau închise într-un corp de forma paralelipipedică. Ultima variantă este cea mai des întâlnită. Se construiesc butoane pentru curenți de până la 6 A şi tensiuni până la 500 V c.a.

Butoanele pot avea una din următoarele culori: roşu, galben, verde, negru şi alb (sau albastru deschis). Acelaşi standard prevede şi funcțiile corespunzătoare fiecărei culori (de exemplu: roşu-oprire sau oprire rapidă, verde-pornire etc.).

Există variante constructive speciale care au două poziții de repaus.

Starea normală a unui contact este starea în care se află acel contact în absența forței de acționare.

Butoanele de comandă se execută în două variante constructive: pentru montaj aparent şi pentru montaj îngropat.

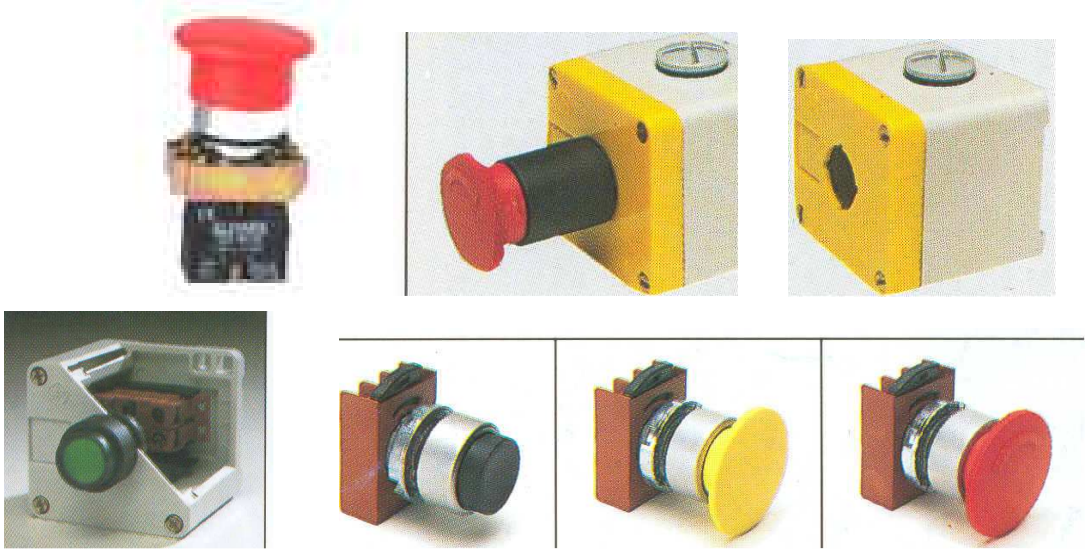


Figura 1.11. Variante constructive de butoane de comandă.

Din punct de vedere al acționării se disting următoarele construcții: butoane de comandă la care acționarea se face prin apăsarea unui buton îngropat; **butoane tip ciupercă** (cu sau fără reținere) la care acționarea se face cu ajutorul unui buton aparent; butoane cu reținere la care acționarea se face prin apăsarea unei chei, iar reținerea prin rotirea cheii cu 90°; butoane cu pipă la care acționarea se face prin apăsarea unei manete (de forma unui pipe), iar reținerea prin rotirea pipei cu 90°. Există numeroase alte tipuri de butoane de comandă unele prevăzute cu o lampă de 24 V care luminează prin corpul transparent al butonului.

Există situații în care funcționarea unei maşini-unelte sau a unui agregat într-un anumit regim este periculoasă sau nu este permis să fie modificată. În aceste cazuri sunt folosite **cheile de comandă**.

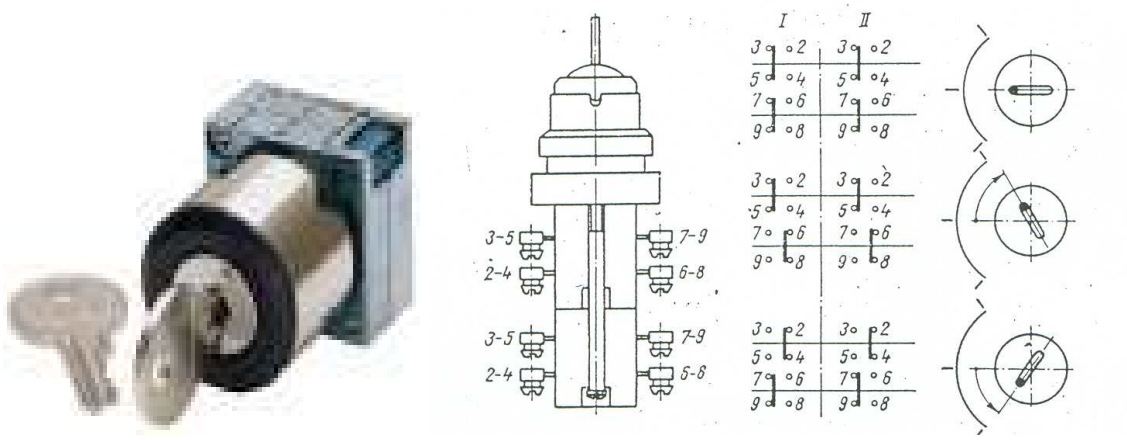


Figura 1.12. Chei de comandă. Construcție şi schema electrică.

În figura 1.12. este prezentată o astfel de cheie cu trei poziții şi diagrama de închidere a contactelor. Cheia pozate fi folosită până la 2 A (la 400 V c.a.). Cheia de comandă are opt perechi de contacte (există variante constructive şi cu patru perechi) montate în socluri de bachelită, şi un mecanism de acționare a contactelor mobile. lntroducând cheia (tip yalle) în broasca mecanismului şi rotind-o spre stânga sau spre dreapta cu 60^0 se închide o pereche sau alta de contacte.

Contactele rămân blocate în poziția acționată şi după scoaterea cheii. Revenirea la poziția inițială se poate face numai prin introducerea cheii în broască şi rotirea ei.

Lămpile de semnalizare se montează pe panouri şi pupitre de comandă şi se utilizează pentru semnalizarea luminoasă a poziției de funcționare a aparatelor de comandă, pentru a indica regimurile normale sau anormale (de avarie) din instalația supravegheată. Lămpile pot fi alimentate la tensiunea rețelei (110 - 230 V) sau la tensiune redusă (24 V, fiind prevăzute ce

rezistențe sau transformatoare de adaptare a tensiunii).

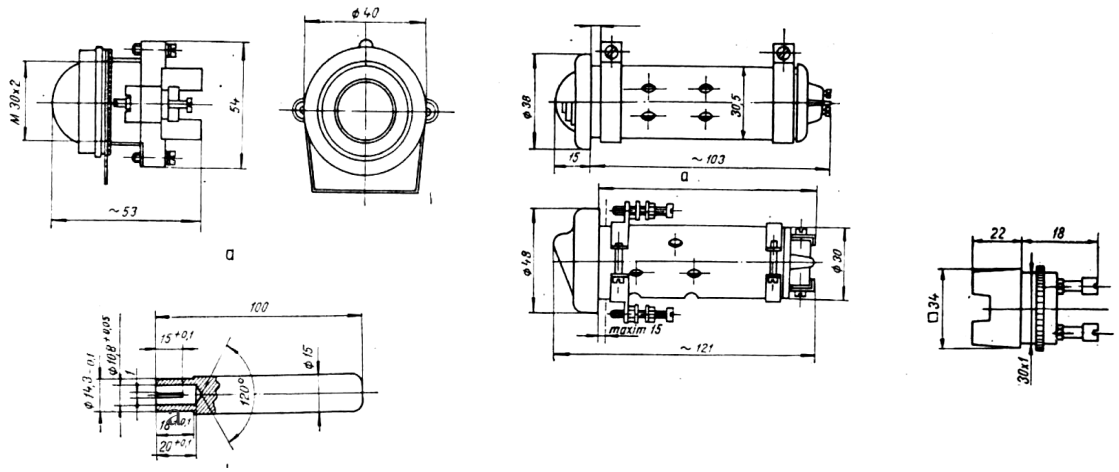


Figura 1.13. Lămpi de semnalizare

Codul culorilor la lămpile de semnalizare este acelaşi ca la butoanele de comandă şi se pot monta pe panouri metalice sau electroizolante în funcție de inelul de gardă.

Figura 1.14. Lămpi de semnalizare

1.9. PRIZE, FIŞE, CUPLE ŞI CONECTOARE.

Prizele şi fişele se utilizează pentru conectarea la rețelele de joasă tensiune a anumitor consumatori mobili. Prizele şi fişele bipolare au contact de protecție, atunci când sunt destinate racordării unor aparate care necesită legarea la instalația de protecție în scopul evitării pericolului de electrocutare.

Aparatele care sunt prevăzute cu contact de protecție au o bornă în plus, care se leagă la conductorul de nul de protecție al instalației sau direct la instalația de legare la pământ. Piciorul de contact destinat racordării utilajului la conductorul de protecție este mai lung sau astfel dispus încât, la introducerea fişei în priză, contactul de protecție să se stabilească înaintea contactelor de lucru. Construcția prizelor şi fişelor corespunzătoare este asimetrică, astfel încât introducerea fişei să se poată face într-o singură poziție.

Figura 1.15. Prize bipolare montate aparent pe tencuială.

Acest tip de priză se utilizează în instalațiile electrice interioare în execuție aparentă. Capacul aparatului este prevăzut cu locaşuri ce se pot decupa pentru introducerea conductoarelor, a tuburilor I.P. sau a altor tuburi similare (IPY, PEL, etc.).

Figura 1.16. Priză bipolare sub tencuială.

Cuplele sunt prize mobile care au o construcţie asemănătoare cu cea a prizelor fixe, fără a avea însă elementele de fixare ci o carcasă închisă. Dintre numeroasele variante constructive de prize, fişe şi cuple în figurile următoarele sunt prezentate cele mai des utilizate.

Figura 1.17. Prize R/TV şi R/TV Satelit

Figura 1.18. Fişe bipolare

Se utilizează pentru racordarea receptoarelor mobile la prize cu contact de protecţie; se poate conecta de asemenea şi la prizele normale de 10 A (fără contact de protecţie).

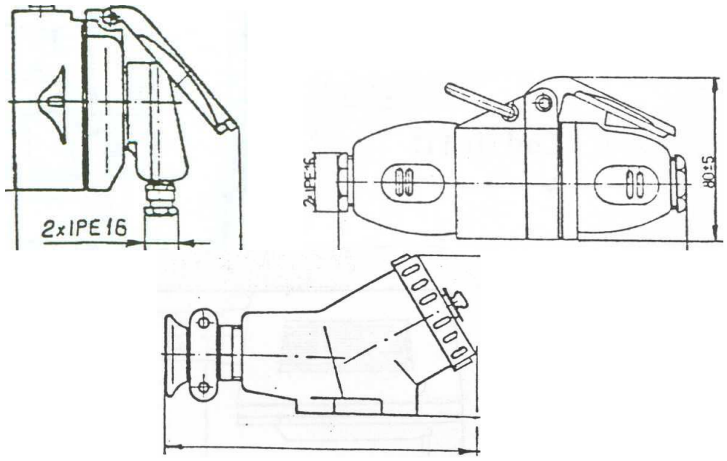


Figura 1.19. Variante constructive de prize şi fişe tripolare.

Prizele, fişele şi cuplele industriale nu sunt prevăzute cu dispozitive de stingere a arcului electric şi de aceea la curenţi nominali de intensitate mare trebuie evitată cu orice preţ deschiderea sub sarcină. Din această cauză prizele fişele şi cuplele sunt prevăzute cu dispozitive de blocare mecanică menite să evite deschiderea accidentală sub sarcină sau să avertizeze utilizatorul asupra pericolului la care se expune la deschiderea sub sarcină.

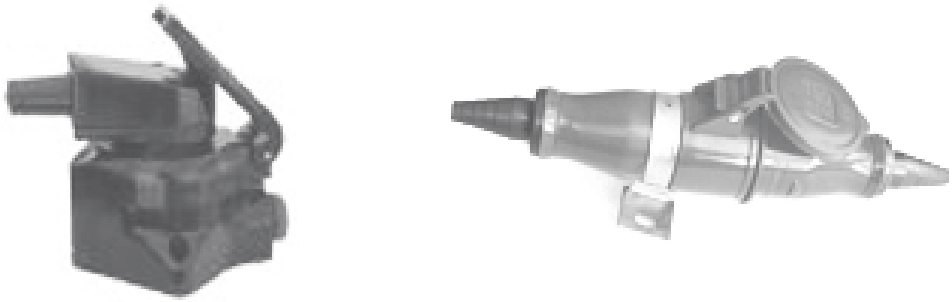
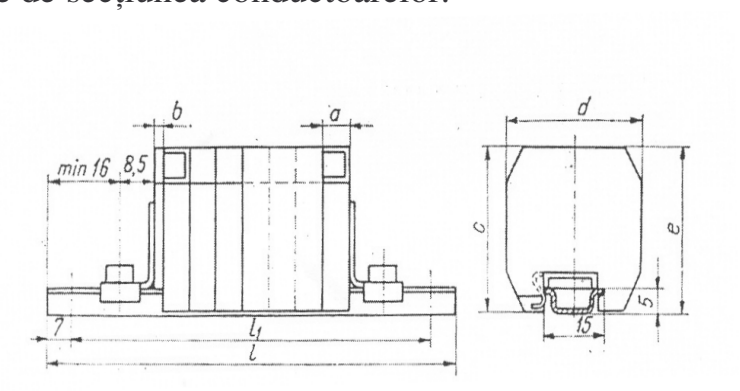


Figura 1.20. Prize şi fişe industriale

Pe lângă construcţiile normale, există şi construcţii protejate în carcase de bachelită şi carcase metalice. Prizele bipolare protejate în carcasă din bachelită, destinate încăperilor cu umiditate sporită sau instalaţiilor electrice exterioare realizate aparent şi protejate împotriva pătrunderii corpurilor străine. Intrarea conductelor electrice în manta de cauciuc sau de plumb sau în tuburi etanşe se face prin presetupe. Partea frontală a prizei este protejată cu un capac rabatabil acţionat de un resort. Prizele bipolare protejate în carcasă metalică se utilizează în instalaţiile industriale interioare şi exterioare realizate aparent. Carcasa metalică se leagă la pământ. Conductele se

protejează în tuburi IPE. Partea frontală a prizei este protejată cu un capac rabatabil acționat de un resort.

Conectoarele se folosesc la realizarea legăturilor electrice între aparatele electrice din panourile de distribuție. Există variante constructive în funcție de secțiunea conductoarelor.



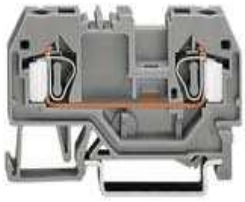


Figura 1.21 Conector de legătură pentru conductoare de 2,5 sau 4 mm.

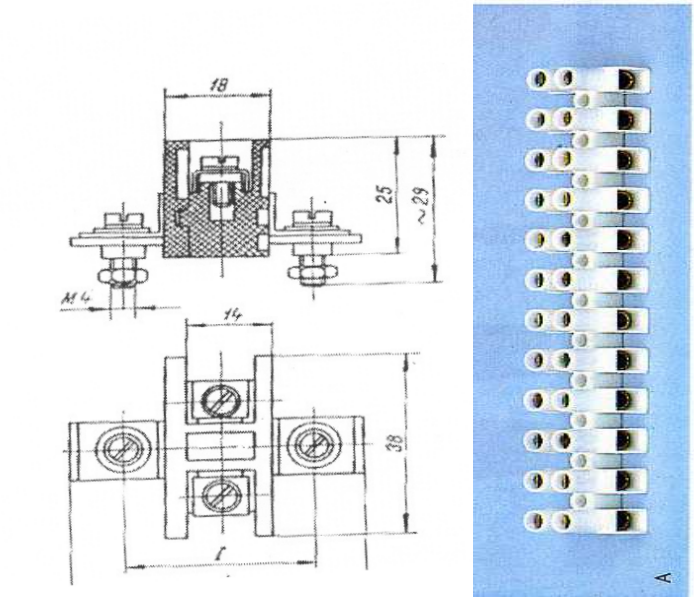
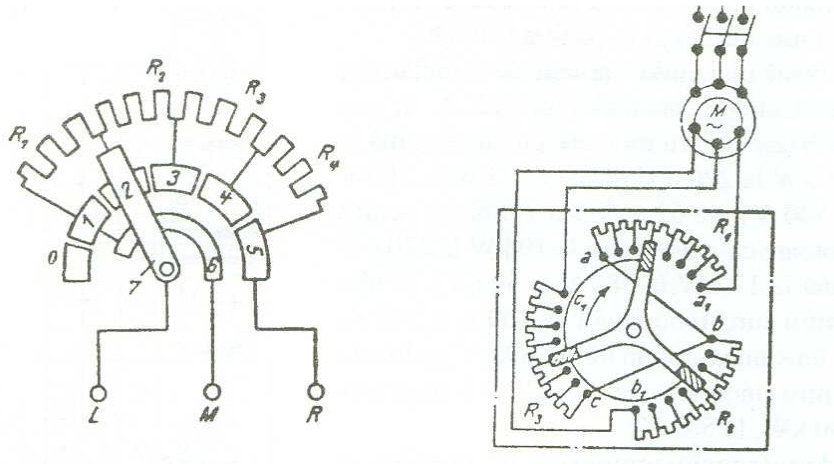


Figura 1.22 Conector de legătură pentru conductoare de 1,5 mm.

1.10. REOSTATE INDUSTRIALE

Reostatele de pornire sunt utilizate pentru a micşora curentul absorbit la pornire de motoarele electrice. Din punct de vedere al încălzirii, reostatele de pornire se pot dimensiona pentru o durată scurtă de funcţionare, caz în care nu pot fi folosite şi pentru reglarea vitezei motoarelor. Reostatele de pornire, construite pentru regim de scurtă durată, până la 30 s, şi reostatele de pornire şi reglare, construite pentru regim de lungă durată, sunt comandate prin controlere.

Există variante constructive de reostate de pornire în c.c. (pentru 110 Vcc; 1,7 ... 12,5 kW) şi de curent alternativ (pentru 500 Vca; 17 ... 200 kW). Există şi variante constructive de reostate de pornire şi reglare de curent continuu (pentru 110 Vcc; 2 ... 4 kW) şi de curent alternativ (pentru 500 V), construite special pentru anumite tipuri de motoare. Constructiv se deosebesc reostate plane şi reostate cu controler. Un reostat plan sau cu ploturi se compune din elemente rezistoare (ca în figura 1.23. a) Borna L se leagă la reţea, borna M se leagă la inductorul motorului direct sau prin intermediul reostatului pentru modificarea curentului de excitaţie, iar borna R se leagă la indusul motorului. Reostatul este astfel construit încât circuitul de excitaţie să nu se poată întrerupe. În figura 1.23. b) este prezentată schema unui reostat plan pentru pornirea unui motor asincron trifazat cu rotor bobinat. Acesta este format dintr-un rezistor trifazat la care variaţia simultană a rezistenţelor pe fază se obţine prin rotirea manetei. iar în poziţia (a, b, c) rezistenţa are valoarea minimă, iar în poziţia (x. y, z) rezistenţa are valoare maximă.



a) b)

Figura 1.23. Reostatul plan cu 3 borne.
a)pentru pornirea unui motor de c.c.,
b)pentru pornirea unui motor asincron cu rotor bobinat.

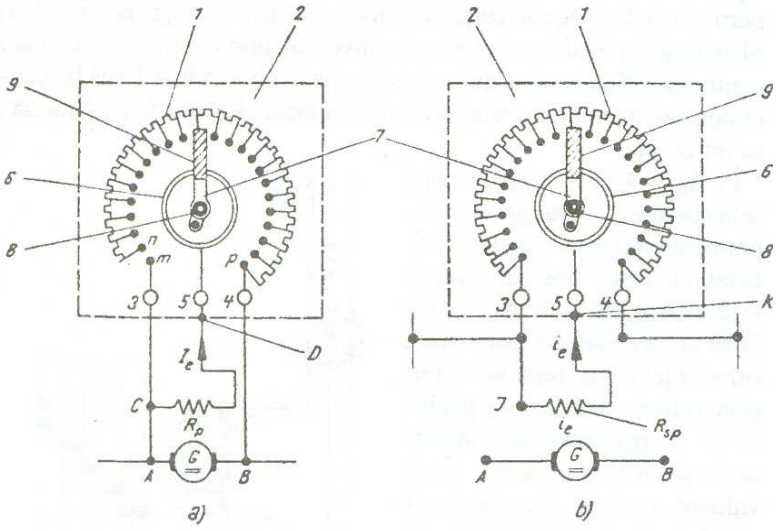


Figura 1.24. Reostate de excitație pentru generatoare de c.c.
a) pentru excitație derivație; b) pentru excitație separată.
1- rezistoare, 2-placa suport; 3, 4, 5-borne; 6-contact glisant; 7-manetă; 8-ax; şi 9-perie.

Reostatele de pornire pot fi comandate şi prin controlere. Reostatele cu controler se folosesc la un număr mai mare de 20 porniri pe oră.

Reostatele de reglare sunt reostate pentru reglarea tensiunii generatoarelor şi reostate pentru reglarea vitezei motoarelor. Reostatele pentru reglarea tensiunii generatoarelor servesc la modificarea curentului de excitație a generatoarelor. Se construiesc ca reostate plane şi au dimensiuni relativ mici, fiind parcurse de curentul de excitație care are intensitate mică. Periile sunt mai late decât distanța dintre două ploturi succesive astfel încât circuitul de excitație să nu fie niciodată întrerupt.

Reostatele pentru reglarea vitezei motoarelor se utilizează la motoarele de curent continuu şi alternativ. La motoarele de curent continuu cu excitație derivație, reglarea vitezei se face prin modificarea excitației şi deci reostatul este asemănător cu un reostat pentru reglarea tensiunii generatoarelor. De obicei, se construiesc aparate complexe, care conțin atât reostatul de reglare a turației cât şi reostatul de pornire. La motoarele de curent continuu cu excitație serie şi la motoarele asincrone, reostatele de reglare sunt calculate pentru a funcționa în regim de lungă durată, şi se pot folosi şi ca reostate de pornire. Pentru asigurarea comutațiilor se utilizează controlere.

Introducerea unor rezistențe de reglare în circuitul rotoric al motorului asincron este însoțită de pierderi de energie şi din această cauză se limitează la durate scurte de timp, în condiții speciale, ca de exemplu la acționarea electrică a mecanismelor de ridicat şi transportat (macarale şi poduri rulante) unde este nevoie de o variație lină a vitezei de ridicare a sarcinii.

1.11. APARATE PENTRU COMANDA MANUALĂ A MOTOARELOR

Aparatele pentru comanda manuală a motoarelor electrice sunt aparate cu contactele în aer sau ulei care servesc la comanda manuală a pornirii, schimbării sensului de rotație, modificarea vitezei de rotație şi pentru reglarea excitației generatoarelor.

Cele mai utilizate aparate electrice neautomate folosite în acest scop sunt: comutatoarele stea-triunghi, inversoarele de sens, autotransformatoarele, reostatele de pornire şi reglare, controlerele şi electromagneții de frânare.

Comutatoarele stea-triunghi se utilizează pentru reducerea curentului de pornire al motoarelor asincrone mari cu rotorul în scurtcircuit, care au tensiunea nominală a înfăşurării statorice conectate în triunghi, egală cu tensiunea de linie a rețelei.

Comutatoarele stea-triunghi manuale au trei poziții de funcționare: zero, stea şi triunghi, manevra fiind imposibilă din poziția zero în poziția triunghi.

În poziția stea, curentul absorbit de la rețea este de trei ori mai mic decât cel din poziția triunghi.

Din punct de vedere al variantei constructive există mai multe variante de comutatoare stea-triunghi manuale: de 32 A în aer (utilizate pentru motoare cu puteri până la 7,5 kW la 230V şi până la 10 kW la 380 V sau 500 V), de 63 A în aer (utilizate pentru motoare cu puteri până la 10 kW la 230V şi până la 17 kW la 380 V sau 500 V), în ulei pentru curenți nominali de 100 A şi 200 A, la tensiunea nominală de 500 V (utilizate pentru motoare de 50 kW şi respectiv 100 kW, la 500 V).

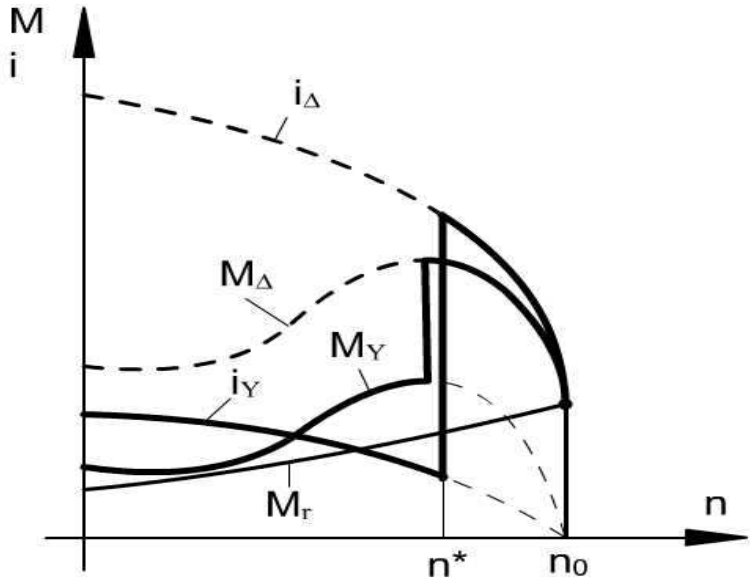
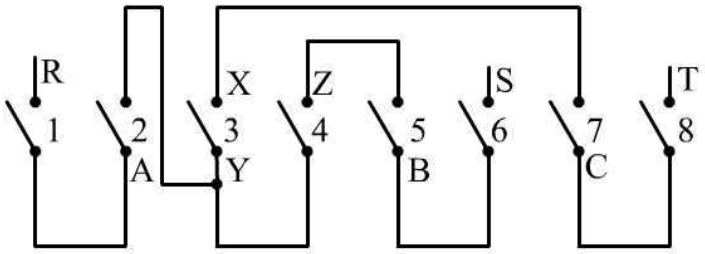


Figura 1.25. Variația curentului şi momentului la pornirea stea-triunghi.

Comutatoarele stea-triunghi se realizează cu comutatoare tip tambur, sau cu came cu controlere sau comutatoare pachet.



	1	2	3	4	5	6	7	8
O			•	•				
Y	•		•	•		•		•
Δ	•	•			•	•	•	•

Figura 1.26. Schema electrică a comutatorului stea-triunghi cu came.

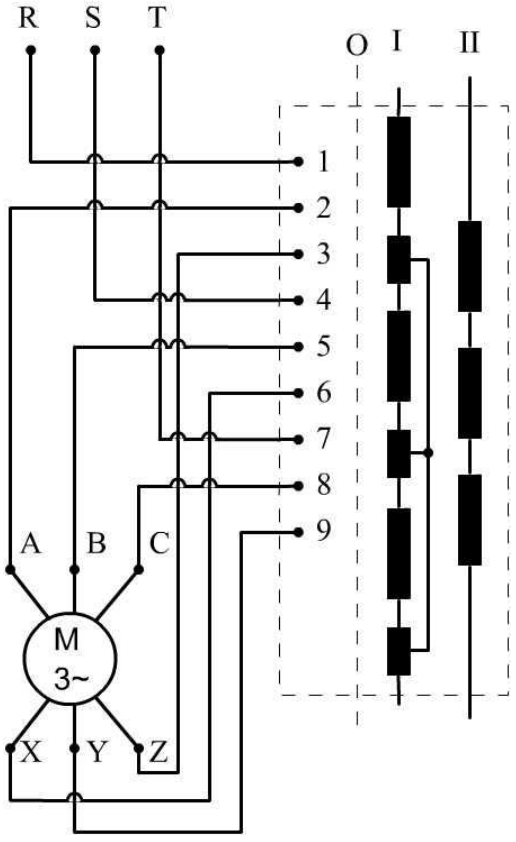


Figura 1.27. Schema electrică a comutatorului stea-triunghi cu tambur.

Inversoarele de sens se utilizează pentru a comanda inversarea sensului de rotație al motoarelor asincrone trifazate prin inversarea a două faze sau prin inversarea curentului rotoric sau de excitație la motoarele de c.c. Inversoarele de sens cu comanda manuală directă pot fi realizate în următoarele variante constructive: cu came, pachet sau cu tambur. Ele au trei poziții: stânga, zero şi dreapta şi permit inversarea sensului de rotație al unui motor aflat în mişcare, având o capacitate de conectare şi deconectare de $6I_N$. Se construiesc pentru curenți nominali de 32 A şi se utilizează pentru motoare cu o putere până la 7 kW la 230 V, până la 10 kW la 400 V şi până la 14 kW la 500 V.

Conform figurii 1.28 pe tambur patinează periile fixe 1 ... 6 legate la rețea şi respectiv la înfăşurările motorului. Când periile se află în poziția 0 motorul nu este alimentat. Prin rotirea tamburului în poziția I, se realizează unul din sensurile de rotație. Pentru inversarea sensului de rotație al motorului se aduce maneta de acționare în poziția 0 şi apoi în poziția II.

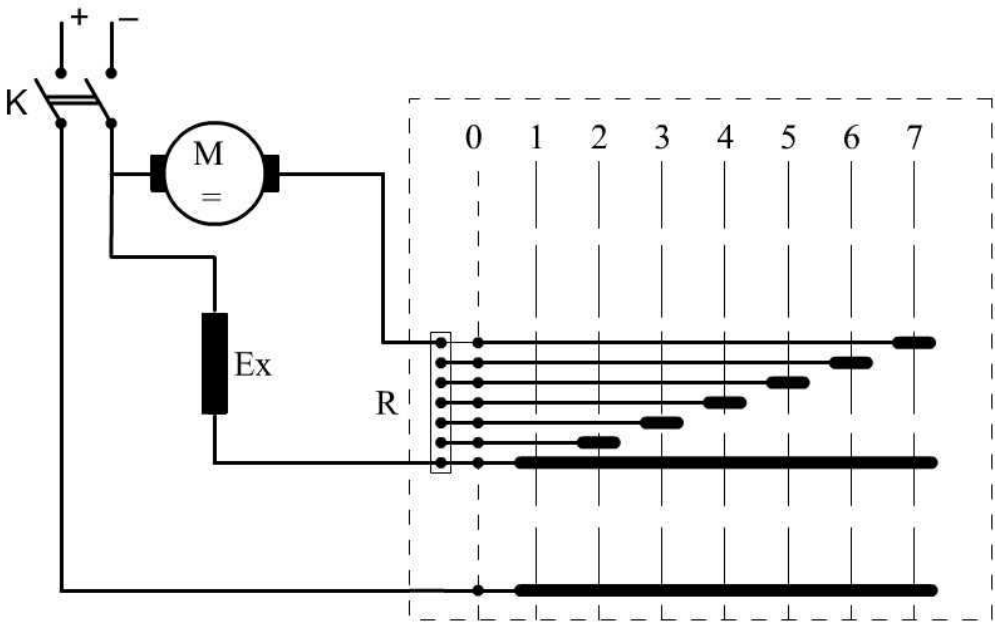


Figura 1.28. Schema electrică a unui inversor de sens de tip tambur.

Electromagneții de frânare servesc la decuplarea automată a frânei la pornirea unui motor electric şi la cuplarea ei automată la oprirea motorului. Aceşti electromagneți de frânare se folosesc la macarale şi ascensoare, în special pentru frânarea automată a mecanismului de ridicare a sarcinii la deconectarea motorului sau la dispariția tensiunii de alimentare.

Electromagneții de frânare se construiesc în variante monofazate sau trifazate. Cei trifazați se pot conecta în stea sau triunghi şi se leagă în paralel

cu înfăşurarea statorului motorului electric de antrenare.

Pentru a verifica modul de însuşire a cunoştinţelor prezentate în acest capitol răspundeţi pe scurt la următoarele întrebări:

1. Definiţi un aparat electric neautomat.
2. Cum sunt acţionate aparatele electrice neautomate?
3. Ce aparate electrice neautomate se folosesc la acţionări cu frecvenţă mare?
4. Ce curenţi comută aparatele electrice neautomate?
5. Ce tipuri de întrerupătoare neautomate cunoaşteţi?
6. La ce tensiuni se folosesc aparatele electrice neautomate de curent alternativ?
7. La ce tensiuni se folosesc aparatele electrice neautomate de curent continuu?
8. Cum se clasifică aparatele electrice neautomate după domeniul de utilizare?
9. Cu ce dispozitive de protecţie sunt dotate aparatele electrice neautomate?
10. Definiţi curentul de serviciu al unui aparat electric.
11. Ce este frecvenţa de conectare a unui aparat electric?
12. În câte clase se împart aparatele electrice neautomate după frecvenţa de conectare?
13. Definiţi capacitatea de rupere a unui aparat electric.
14. Definiţi capacitatea de închidere a unui aparat electric.
15. Explicaţi codul I.P.45.
16. Explicaţi codul I.P.334.
17. Definiţi un separator electric.
18. La ce se folosesc întrerupătoarele şi comutatoarele cu pârghii?
19. Cum se mai numesc întrerupătoarele cu pârghii?
20. Unde se folosesc întrerupătoarele şi comutatoarele pachet?
21. Ce rol are mecanismul de sacadare al unui întrerupător pachet?
22. Ce avantaje prezintă întrerupătoarele pachet?
23. Ce funcţii pot îndeplini comutatoarele pachet?
24. Ce tipuri de întrerupătoare basculante cunoaşteţi?
25. La ce se folosesc limitatoarele de cursă?
26. Ce tipuri constructive de limitatoare de cursă cunoaşteţi?
27. Ce este un limitator de cursă cu acţiune instantanee?
28. La ce se folosesc microîntrerupătoarele?
29. Ce tipuri de butoane de comandă cunoaşteţi?
30. Ce este un contact NI?
31. Ce este un contact ND?
32. Ce culoare are un buton de pornire?
33. Ce culoare are un buton de oprire?
34. Unde se folosesc butoanele tip ciupercă?

35. Când se folosesc cheile de comandă?
36. Ce semnalizează o lampă aprinsă de culoare roşie?
37. Ce tipuri de prize şi fişe cunoaşteți?
38. Ce tipuri de reostate cunoaşteți?
39. Ce aparate se folosesc la comanda manuală a motoarelor?
40. Cu ce aparate electrice neautomate puteți realiza un comutator Y–Δ?
41. Cu ce aparate electrice neautomate puteți realiza un inversor de sens?
42. Cum se realizează inversarea sensului de rotație a unui motor asincron?
43. Cum se poate realiza inversarea sensului de rotație a unui motor de c.c.?
44. De ce folosim pornirea Y–Δ a unui motor?
45. La ce motoare se poate folosi pornirea Y–Δ?
46. De câte ori scade curentul de pornire la pornirea Y–Δ?
47. De câte ori scade momentul de pornire la pornirea Y–Δ?
48. Cum se clasifică reostatele în funcție de durata relativă de funcționare?
49. Ce rol au electromagneții de frânare?
50. Ce rol au şirurile de cleme?

2. ECHIPAMENTE ELECTRICE DE COMUTAȚIE DE JOASĂ TENSIUNE

Aparatele electrice de comutație servesc la închiderea şi deschiderea circuitelor electrice, realizând sau suprimând legăturile electrice dintre bornele aparatelor, maşinilor sau echipamentelor electrice.

Aparatele de conectare se consideră automate când cel puțin una dintre acționări poate avea loc automat. De obicei deschiderea este automată (eventual comandată de către protecții) iar închiderea este fie automată fie comandată manual. Din categoria echipamentelor automate de conectare la joasă tensiune fac parte: contactoarele electromagnetice sau statice, întrerupătoarele automate şi releele intermediare.

2.1. CONTACTOARE ELECTROMAGNETICE

Contactorul electromagnetic este definit ca un aparat de comutație electromecanică, acționat altfel decât manual (de un electromagnet la joasă tensiune), cu o singură poziție de repaus, capabil să stabilească, să suporte şi să întrerupă curenți nominali şi curenți mai mari decât cei nominali, dar care apar în mod normal (nu curenți de scurtcircuit). Este destinat efectuării unui mare număr de comutații în sarcină (10^5 – 10^6) şi unui număr şi mai mare de comutații fără sarcină (10^7).

Contactoarele sunt aparate de comutație care pot realiza operațiile de închidere, deschidere şi comutare a unor circuite ca urmare a unei comenzi date de un releu, de un traductor sau de operatorul uman, la anumiți parametri electrici prestabiliți. Ele pot fi acționate de un operator, prin utilizarea unui buton de comandă montat în apropierea aparatului sau de la distanță.

Contactoarele se caracterizează prin faptul că ele conectează un circuit sub acțiunea comenzii şi mențin închis circuitul atâta vreme cât durează această comandă (adică au contactele principale normal deschise – ND). Astfel de aparate au funcția de ruptor. Mai puțin utilizate sunt contactoarele cu funcție de conjunctor (care au contactele de forță normal închise –NI).

Contactoarele trebuie să poată suporta trecerea prin ele, un timp scurt, a curentului de scurtcircuit şi să deconecteze supracurenții de ordinul 4-6 ori curentul nominal. Contactoarele şi ruptoarele au capacitatea de rupere redusă însă au rezistența mecanică foarte bună, asigurând un număr mare de manevre

cu frecvență de comutare ridicată.

Aceste aparate pot fi de curent continuu, curent alternativ sau mixte. La aparatele în regim mixt, contactele principale funcționează în curent continuu, iar bobina de excitație în curent alternativ sau invers.

2.1.1. Clasificarea contactoarelor electromagnetice

Există mai multe criterii de clasificare a contactoarelor electromagnetice. Dintre acestea cele mai importante sunt:

A. După felul curentului comutat (din circuitul căilor principale de curent): -- contactoare de curent alternativ, monofazate sau trifazate.

- contactoare de curent continuu.

B. După felul curentului din circuitul de comandă (curent de excitație):

- comandate în curent continuu;
- comandate în curent alternativ monofazat sau trifazat.

C. După numărul polilor:

- monopolare;
- multipolare.

D. După sistemul de acţionare:

- electromagnetice;
- electropneumatice.

E. După cinematica mişcării contactelor:

-cu mişcare de translație pe orizontală (cazul contactoarelor de c.a. în aer);

-cu mişcare de rotație (cazul contactoarelor de c.c.);

-cu mişcare combinată, de rotație şi translație (cazul contactoarelor de c.a. de curenți mari);

-cu mişcare de translație pe verticală (cazul contactoarelor în ulei).

F. După tipul sarcinii (conform recomandării CEI 158/1 şi STAS 4479/74): Contactoarele de curent alternativ se clasifică în 4 grupe:

• **AC1** – pentru comanda receptoarelor cu sarcini neinductive sau slab inductive

• **AC2** – pentru pornirea motoarelor cu inele de contact şi la frânarea prin contracurent;

• **AC3** – pentru pornirea motoarelor în scurtcircuit şi la oprirea acestora în plin mers;

• **AC4** – pentru pornirea motoarelor în scurtcircuit la mersul cu locuri şi

la inversarea sensului de rotație al motoarelor.

Contactoarele de curent continuu se clasifică în 5 grupe:

• **DC1** – pentru comanda receptoarelor cu sarcini neinductive sau slab inductive;

• **DC2** – pentru pornirea motoarelor cu derivație sau pentru pornirea acestora în plin mers;

• **DC3** – pentru pornirea motoarelor derivație la mersul cu şocuri şi la inversarea sensului de rotație al motoarelor;

• **DC4** – pentru pornirea motoarelor serie şi oprirea acestora în plin mers;

• **DC5** – pentru pornirea motoarelor serie la mersul cu şocuri şi la inversarea sensului de rotație în plin mers al motoarelor.

G. Din punctul de vedere al **rezistenței mecanice la uzură** a contactelor, contactoarele se clasifică în funcție de durata de serviciu în gol (fără sarcină), exprimată prin numărul de acționări minime, astfel:

Tabel 2.1. Numărul minim de acționări.

Clasa	Numărul de acționări minime
I	250.000
II	1.000.000
II	5.000.000
IV	10.000.000

Din punct de vedere constructiv, contactorul electromagnetic este alcătuit din următoarele elemente: organul motor (electromagnetul), resortul antagonist, polii principali, căile de curent, camerele de stingere, contacte auxiliare (contacte normal închise şi deschise, necesare automențínerii, semnalizării şi interblocajului) şi carcasa aparatului, ca suport material pentru elementele active.

2.1.2. Contactoare electromagnetice de curent alternativ.

Aceste contactoare sunt destinate conectării motoarelor care lucrează în regim intermitent (conectări repetate de scurtă durată), pentru conectarea reostatelor de pornire şi pentru diverse comutații în rețele de forță şi iluminat de curent alternativ.

Au bobina de acționare alimentată în majoritatea cazurilor în curent alternativ şi circuitul magnetic se execută din tole de 0,35 ... 1 mm grosime, pentru limitarea curenților turbionari.

Pentru amortizarea vibrațiilor armăturii datorită pulsației forței de atracție polii miezului sunt parțial ecranați cu spire în scurtcircuit.

La contactoarele acționate cu electromagneți în curent alternativ, inductivitatea bobinei variind invers proporțional cu întrefierul, curentul absorbit de bobină în momentul anclanşării (când inductivitatea are valoarea cea mai redusă) poate lua valorii de cca. 10- 15 ori mai mari decât în cazul când armătura este complet atrasă la capăt de sursă. Acest şoc de curent se micşorează treptat, pe măsură ce armătura se deplasează şi atinge valoarea sa minimă când întrefierul $\delta=0$. Raportul dintre şocul de curent şi valoarea minimă (de regim permanent) depinde de întrefierul inițial şi de forma circuitului magnetic. Contactoarele cu şocuri mari de curent în momentul anclanşării nu pot fi utilizate la frecvențe mari de conectare, de aceea bobinele de acționare se recomandă a fi alimentate în curent continuu.

Contactoarele de curent alternativ este construiesc în două variante, şi anume: cu simplă mişcare de translație şi cu dublă mişcare de translație.

Contactorul cu mişcare simplă de translație este reprezentat schematic în figura 2.1.

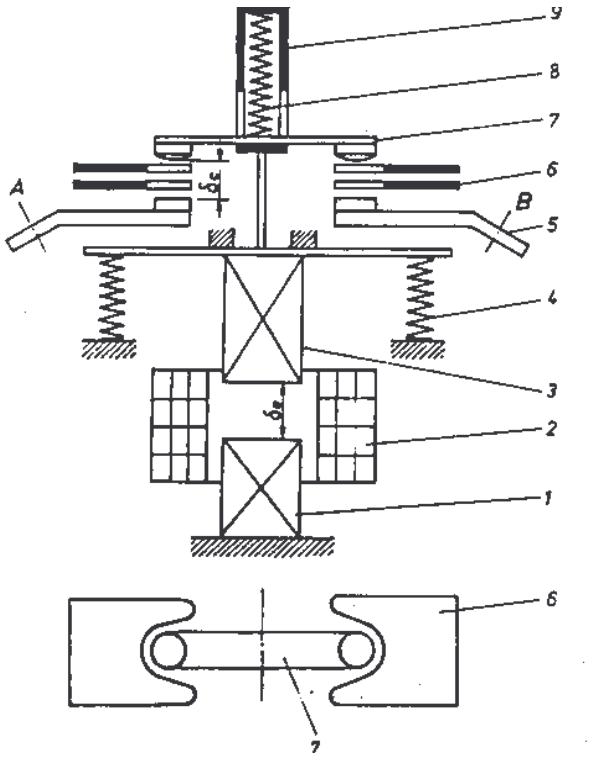


Figura 2.1 Elementele constructive ale contactorului cu mişcare de translație

Conform figurii 2.1. organul motor este un electromagnet monofazat cu spiră în scurtcircuit (reperele 1, 2, 3). Resorturile antagoniste 4 asigură starea de repaus. Pe calea de curent 5 sunt plasate elementul fix de contact şi una din borne. Calea de curent are două locuri de rupere, în zone plasate între plăcile feromagnetice 6. Piesele mobile de contact sunt lipite de puntea 7. Resortul 8, asigură foța de apăsare pe contacte şi este plasat în caseta 9.

Camera de stingere are ca principiu **efectul de electrod şi nişă**. Prin

efectul de nişă, arcul dintre piesele de contact este introdus în camera de stingere şi apoi este divizat într-un număr de segmente egal cu numărul de intervale dintre plăcile feromagnetice sub forma literei V. În acest mod apare efectul de electrod, adică de divizare a tensiunii dintre anod şi catod.

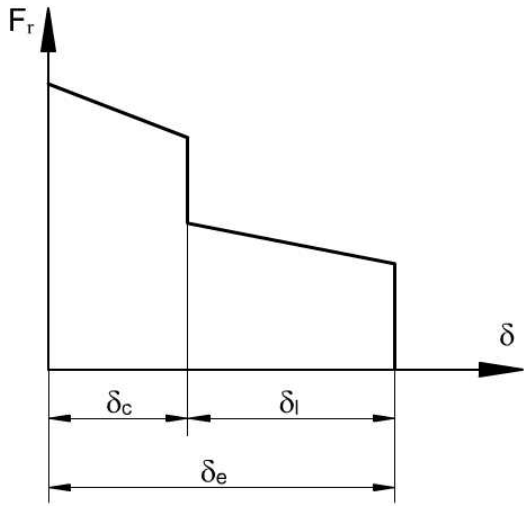


Figura 2.2. Diagrama forței rezistente în funcție de întrefier la contactorul cu mişcare simplă de translație.

Pentru determinarea numărului de segmenți ai camerei de stingere pornim de la expresia căderii de tensiune pe arcul electric.

Pentru un arc electric scurt, tensiunea de ardere este:

$$U_a = n \cdot \alpha_i \qquad (2.1)$$

unde n este numărul de intervale, $\alpha_i \approx 25V$ – tensiunea pe interval, iar U_a este tensiunea arcului electric. Ca urmare trebuie îndeplinită condiția:

$$U_s < n \cdot \alpha_i \qquad (2.2)$$

unde U_s este tensiunea sursei.

Procesul de stingere este în realitate uşurat de faptul că în curent alternativ curentul trece prin valoarea 0 şi, pe de altă parte, îngreunat de apariția tensiunii de restabilire care are o amplitudine mai mare decât tensiunea sursei.

Pentru a se aprecia valoarea tensiunii de restabilire este necesar să se cunoască momentul trecerii prin 0 a curentului deoarece în acest moment apare tensiunea de restabilire.

Pentru ca întreruperea să fie reuşită este necesar ca tensiunea de refacere a rigidității electrice U_d sa fie mai mare decât tensiunea de restabilire U_r, adică: $U_d > U_r$ (2.3)

Numărul de intervale dintre plăcile feromagnetice se calculează cu relația:

$$n_i = 0{,}866 \cdot k_n \cdot k_s \cdot U_n / Ud_i \qquad (2.4)$$

în care s-a notat:

k_n – factorul de neuniformitate a repartizării tensiunii de restabilire, ` $k_n \approx 1{,}1$;

k_s – coeficient de siguranță, $k_s \approx 1{,}1$;

Ud_i – tensiunea pe interval în funcție de curentul limită întrerupt;

U_n – tensiunea nominală a rețelei (între faze).

Contactorul cu mişcare dublă de translație. Pentru intensități mari ale curentului nominal (100... 400A), masele în deplasare fiind mai mari, energia cinetică corespunzătoare este importantă. În aceste cazuri este necesară micşorarea vitezei de închidere a contactelor, iar cinematica aparatului comportă o mişcare de translație dublă: a contactelor şi a electromagnetului.

Schema cinematică este prezentată în figura 2.2.

Conform figurii 2.3. un pol al aparatului este reprezentat prin conductoarele 1, 2 pe care sunt plasate contactele fixe şi bornele aparatului A, B. Pe puntea conductoare 3 sunt plasate contactele mobile. în caseta 4 se află resortul precomprimat 5. Electromagnetul de acționare este figurat prin armătura mobilă 7, bobina 8 şi armătura fixă 9. Transmiterea mişcării de la armătura mobilă 7 la puntea 3 cu contactele mobile se realizează cu sistemul de pârghii 10, 11, 12. Resortul precomprimat 6 asigură forța necesară menținerii contactorului deschis.

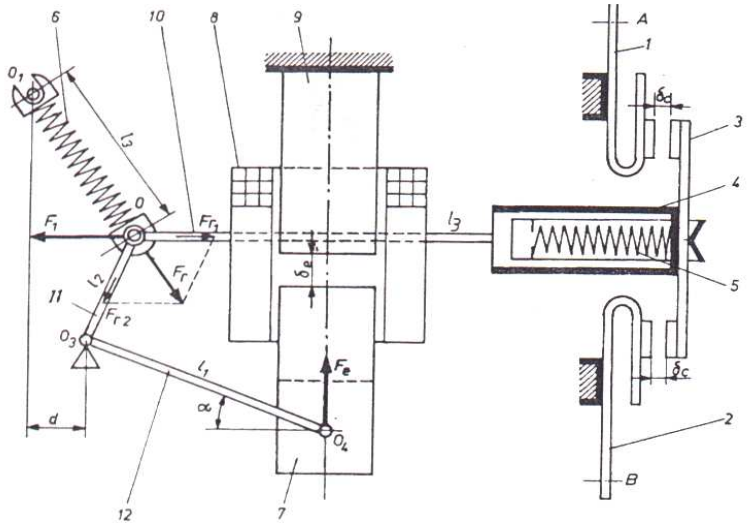


Fig. 9.5. Cinematica contactorului cu mişcare dublă de translație.

Figura 2.3. Cinematica contactorului cu mişcare dublă de translație

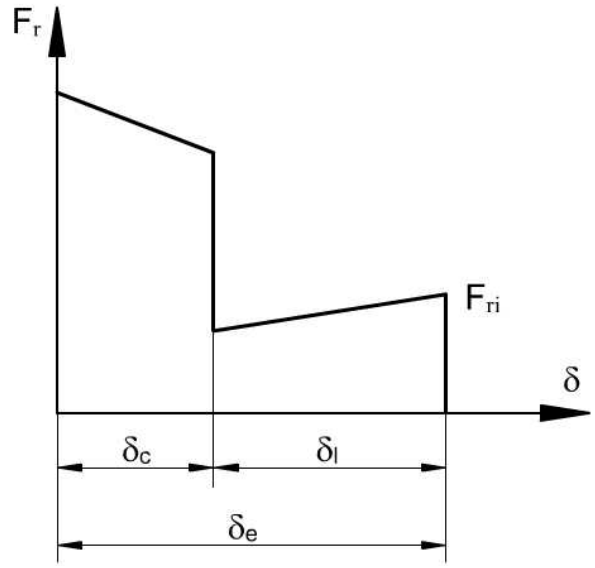


Figura 2.4. Diagrama forței rezistente în funcție de întrefier la contactorul cu mişcare dublă de translație.

După cum se observă în figura 2.5. calea de curent este contorsionată în zona contactelor, în vederea formării unei bucle la dispariția arcului electric şi deci în vederea împingerii acestuia din urmă în camera de stingere.

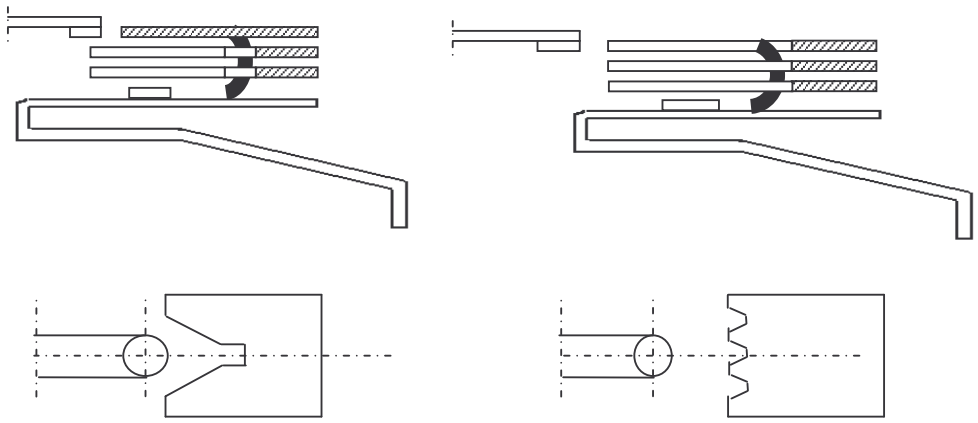


Figura 2.5. Calea de curent şi camera de stingere cu efect de electrod şi nişă

Această **cameră de stingere** este formată din plăci feromagnetice cu nişe simple sau cu nişe multiple.

În execuție normală, contactorul nu este aparat de protecție. Dacă însă în serie cu polii principali se conectează un bloc de relee termice, contactorul îndeplineşte şi funcția de protecție împotriva suprasarcinii.

Contactoarele de curent alternativ au viteză de acţionare mult mai mare decât la cele de curent continuu, deoarece la începutul mişcării curentul şi fluxul cresc foarte rapid. În ipoteza unei variaţii sinusoidale a fluxului acesta produce forţa maximă după T/4 adică după un timp de 0,005 s (la 50 de Hz) de la conectarea bobinei. Durata conectării depinde mai ales de masa echipajului mobil, rezultând o temporizare proprie la închidere între 0,05 – 0,1 s şi la deschidere între 0,02-0,1 s.

În conformitate cu recomandarea CEI 158/1 fiecărei categorii de utilizare a contactoarelor de c.a. îi corespund condiţii tehnice prin care se stabileşte sarcina comutată (tabelul 2.2.). Standardele mai prevăd şi clasa de uzură prin care se precizează durata relativă de conectare şi numărul de conectări pe oră.

Semnificaţia, mărimilor din tabel:

- I – curent stabilit măsurat ca valoare efectivă;
- I_c – curent stabilit şi întrerupt măsurat ca valoare efectivă;
- I_e – curent de folosire;
- U – tensiune aplicată;
- U_r – tensiune de restabilire la frecvenţa industrială;
- U_e – tensiunea de folosire la frecvenţă industrială.

Tabelul 2.2. Condiţiile tehnice ale contactoarelor de c.a.

Cate-goria	Condiţii de închidere şi deschidere					
		U_r/U_e	Cos φ	Durata trecerii curentului [s]	Durata de pauză [s]	Numărul de ciclu-ri de manevră
AC1	1,5	1,05	0,8	0,05	*	50
AC2	4,0*	1,05	0,65*	0,05	*	50
AC3*	8,0	1,05	*	0,05	*	50
AC4*	10,0	1,05	*	0,05	*	50
AC5a	3,0	1,05	0,45	0,05	*	50
AC5b	1,5*	1,05	*	0,05	60	50
AC6a	*	*	*	*	*	*
AC6b	*	*	*	*	*	*
AC7a	1,5	1,05	0,8	0,05	*	50
AC7b	8,0	1,05	*	0,05	*	50
AC8a	6,0	1,05	*	0,05	*	50
AC8b	6,0	1,05	*	0,05	*	50

2.1.3. Contactoare de curent continuu

Contactoarele de curent continuu au **circuitul magnetic** de tip clapetă, cu armătura mobilă de tip clapetă şi cu armătura mobilă sprijinită pe o prismă pentru asigurarea unei rezistenţe la uzură mai mare. Uneori aceste contactoare sunt prevăzute cu rezistenţe economizoare, legate în serie cu bobina de acţionare. În poziţia deschis aceste rezistenţe sunt scurtcircuitate de un contact auxiliar (normal închis – NI) şi curentul care parcurge bobina de acţionare are o valoare mare, fiind limitat numai de rezistenţa bobinei. În poziţia închis a contactorului, se deschide contactul auxiliar şi curentul se micşorează, deoarece în acest caz el este limitat de rezistenţa bobinei şi de rezistenţa economizatoare, legate în serie pe sursă.

Circuitele magnetice ale contactoarelor de curent continuu au întrefier de lucru la poziţia închis foarte mic, pentru micşorarea solenaţiei necesare obţinerii forţei portante dorite. Întrefierul este de cca 4-10 mm.

Contactorul de curent continuu este folosit în tracţiunea electrică şi în instalaţiile de acţionări electrice.

Din punct de vedere constructiv, există două variante, în funcţie de principiul de stingere a arcului electric şi anume:

A. Contactorul cu mişcare de translaţie cu întrerupere dublă, la care se foloseşte efectul de electrod pentru stingerea arcului electric. Acesta este introdus în camera de stingere prin efectul de buclă al căii de curent şi efectul de nişă

B. Contactorul cu mişcare de rotaţie, întrerupere simplă, la care se foloseşte principiul contactului arcului electric cu pereţi reci în vederea răcirii şi stingerii lui (efectul deion). Arcul electric este introdus în camera de stingere cu ajutorul suflajului magnetic.

Contactorul cu mişcare de translaţie foloseşte ruperea arcului electric în două locuri iar camera de stingere este identică cu aceea a contactorului de curent alternativ. Principiul de stingere a arcului electric este cel al efectului de nişă asociat cu efectul de electrod.

Contactorul cu mişcare de rotaţie este prezentat în figura 2.6.

Acest tip de contactor se realizează în trei variante de camere de stingere şi anume:

-cu pereţi reci de azbociment;

-cu pereţi reci din azbociment sau material ceramic, cu fantă îngustă;

-cu pereţi reci din ceramică cu fantă îngustă şicanată.

După separarea pieselor de contact 1, 2, se formează arcul electric ce se dezvoltă într-o zonă în care este dirijat fluxul magnetic al bobinei de suflaj 4 cu ajutorul tălpilor polare 5. Fluxul magnetic dezvoltat de bobina de suflaj

este dirijat transversal pe direcţia arcului electric.

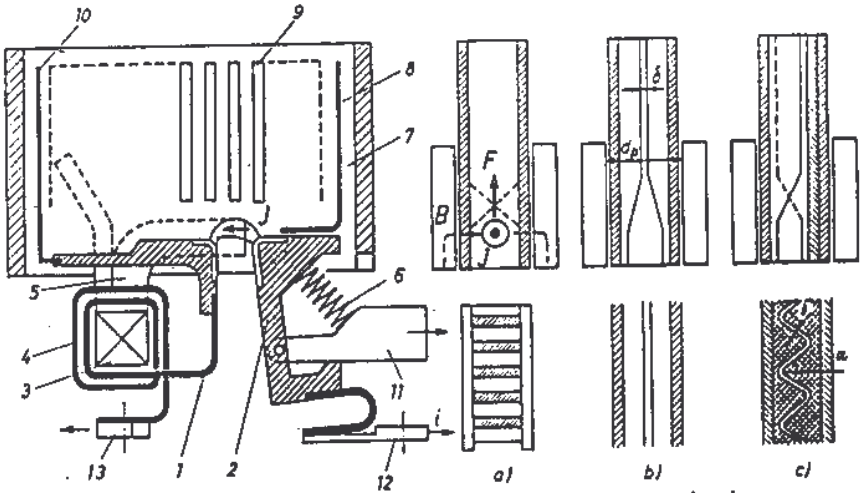


Figura 2.6. Contactorul cu un loc de rupere şi mişcare de rotaţie, de c.c.
1-element fix de contact; 2-element mobil de contact;
3-miezul magnetic al bobinei de suflaj; 4-înfăşurarea bobinei de suflaj;
5-pol magnetic; 6- resort pentru asigurarea

Sub acţiunea forţei Lorentz: F=JxB arcul electric este dirijat în camera de stingere alungit apreciabil între rampele 8 şi 10, pus în contact cu pereţii reci şi apoi stins.

În figurile următoare sunt prezentate câteva variante constructive de contactoare de curent alternativ şi curent continuu.

Figura 2.7. Contactor CRF1 – AC3.

Contactor cu acţionare magnetică tri şi tetrapolară pentru comanda motoarelor (circuitul de comandă este alimentat in c.a. şi c.c.).
Imax=150A, tensiunea 48V, frecvenţa 40.. 400Hz.

Figura 2.8. Contactor LP4 D (DC, AC3)

Contactor tripolar de larg consum pentru comanda motoarelor 9-25A (comanda în curent continuu). Contactorul, alimentat în curent continuu nu necesită nici o interfață, consumul redus îl recomandă la comanda directă a părților statice. Este ideal pentru coexistența circuitelor de putere şi cele electronice.

Contactor tripolar de larg consum pentru comanda motoarelor 115-800A (comanda în curent alternativ).

Figura 2.9. Contactor LP4 K (DC, AC3) 6-12A

Minicontactor tripolar pentru comanda motoarelor (circuit de comandă în curent continuu)

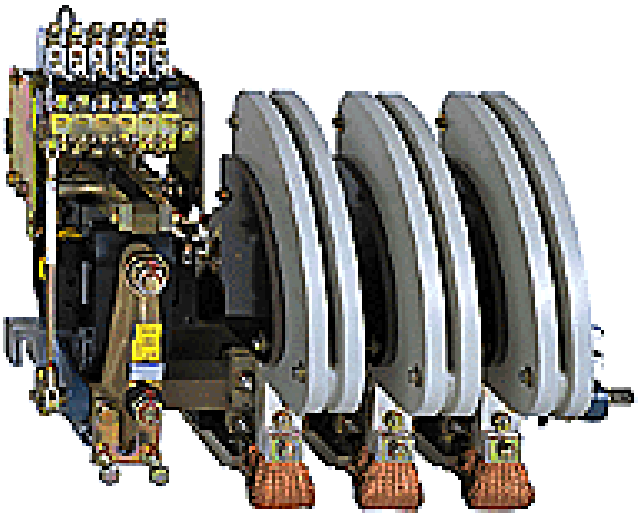


Figura 2.10. Contactor pe bară tripolar LC1 B (AC, AC3) 750-1800A pentru comanda motoarelor.

2.1.4. Comanda contactoarelor electromagnetice

Pentru comanda contactoarelor electromagnetice se foloseşte de obicei un **buton dublu de acționare**, cu revenire (format din înserierea a două contacte unul NI şi unul ND). Alimentarea bobinei contactorului se face de la o sursă de curent alternativ, de la o sursă de curent continuu sau de la un redresor.

Dacă butonul de comandă este cu revenire trebuie să se folosească un contact auxiliar ND a contactorului pentru memorarea comenzii (contact de automenținer). Acest contact este în paralel cu contactul ND al butonului de pornire.

Rezultă că pentru comanda cu butoane cu revenire a contactoarelor electromagnetice,

Acestea vor fi prevăzute cu cel puțin un contact auxiliar (ND).

Reprezentarea grafică a schemelor electrice se poate face conform standardelor naționale prin:

- scheme de lucru (completă), în care aparatele electrice şi părțile lor componente sunt reprezentate aşa cum sunt plasate în realitate (conform legăturilor lor fizice),

-scheme electrice desfăşurate (funcționale) în care elementele componente ale aparatelor sunt reprezentate în mod logic, separând circuitele de forță şi cele de comandă şi control. Deoarece sunt mai sugestive şi mai uşor de utilizat se recomandă utilizarea în documentațiile tehnice a schemelor

electrice desfăşurate.

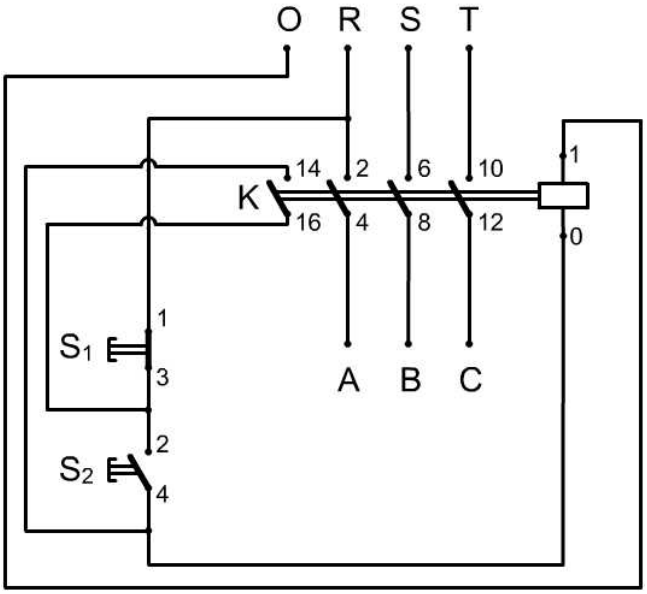


Figura 2.11. Schema de lucru (completă) de alimentare şi comandă u unui contactor trifazat cu electromagnet de c.a.

În figura 2.11. este prezentată schema de comandă a unui contactor trifazat acționat de un electromagnet de c.a..

Comanda contactorului se face printr-un buton dublu sau prin două butoane simple (S_1, S_2). Prin apăsarea butonului de pornire S_2 se alimentează bobina contactorului K (0-1) de la faza R şi nulul rețelei O, ceea ce duce la închiderea contactelor principale K (2-4, 6-8, 10-12), ceea ce duce la alimentarea consumatorului conectat la bornele A, B, C, cu tensiunile fazelor R, S, T. Concomitent se închide contactul auxiliar K (14-16), de automenținere care asigură menținerea sub tensiune a bobinei contactorului după ce butonul de comandă (cu revenire) revine la starea inițială. Întreruperea alimentării consumatorului se face de la butonul de oprire S_1, care întrerupe alimentarea bobinei contactorului ceea ce conduce la deschiderea contactelor principale.

Aceeaşi schemă de comandă a contactorului este reprezentată sub forma unei scheme electrice desfăşurate (funcțională) în figura 2.12. Din această reprezentare a schemei electrice, mai clară şi mai simplă reiese justețea afirmației că reprezentarea desfăşurată a schemelor electrice este recomandabilă.

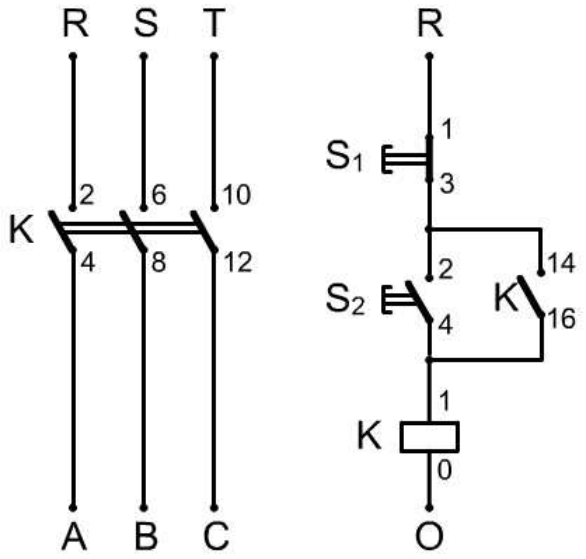


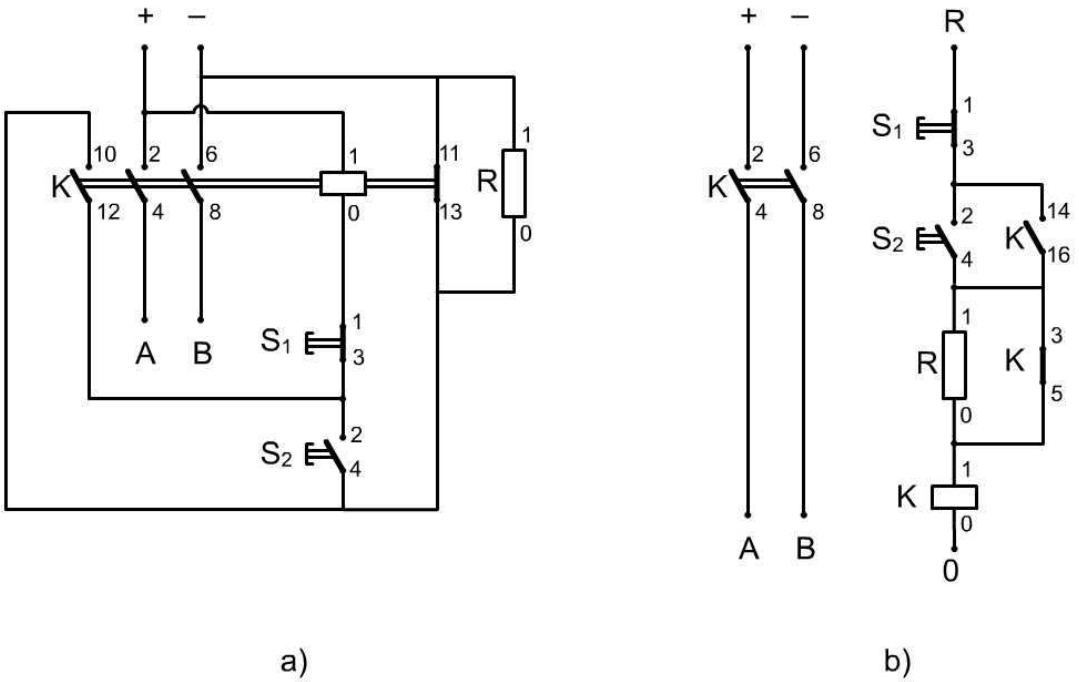
Figura 2.12. Schema electrică desfăşurată de alimentare şi comandă a unui contactor trifazat cu electromagnet de c.a.

Pentru cazul contactoarelor de c.c. acționate de electromagneți de c.c., alimentarea se face de la o sursă de c.c.. În figura 2.13. este prezentată atât schema electrică desfăşurată cât şi cea de lucru pentru alimentarea şi comanda unui contactor de c.c..

Funcționarea schemei este similară celei precedente. La acționarea butonului S_2 este alimentată bobina contactorului K (0-1) şi se închid contactele principale K (2-4, 6-8) alimentându-se cu de la sursa de tensiune continuă consumatorul racordat la bornele A, B.

Comanda de pornire este memorată de contactul de automenținer K (10-12). Oprirea se face de la butonul S_1 care întrerupe alimentarea bobinei contactorului. La electromagneți de acționare de c.c. se poate dimensiona economic bobina electromagnetului deoarece în poziția închis a contactorului forța dezvoltată de electromagnet este maximă şi mult superioară celei necesare asigurării presiunii pe contacte. Se poate deci folosi o rezistență economizatoare R, înseriată cu bobina contactorului şi scurtcircuitată de contactul auxiliar NI al acestuia K (3-5).

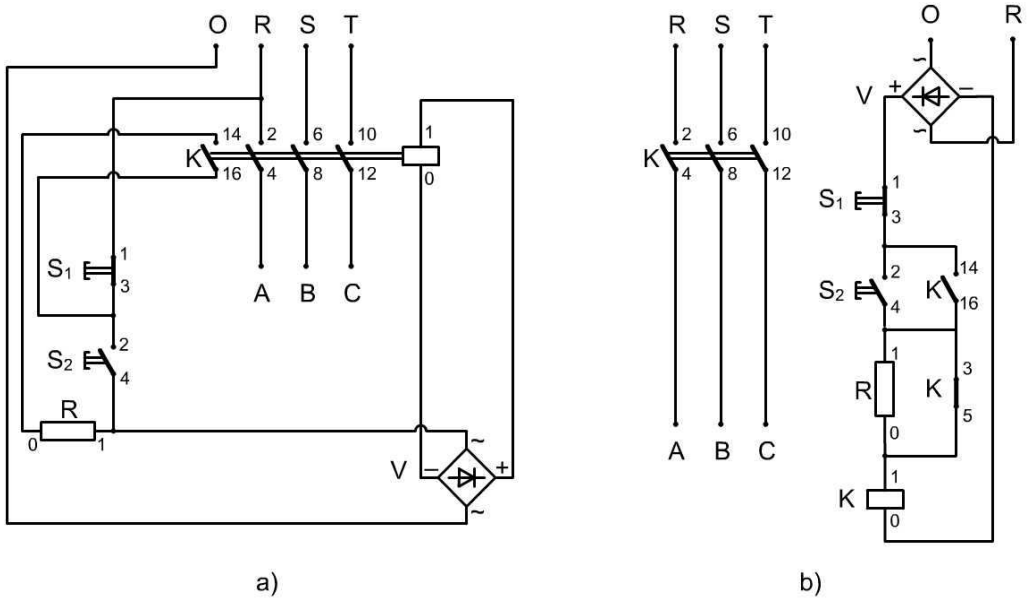
La acționarea butonului de pornire S2 bobina va fi parcursă de un curent mare, limitat doar de rezistența bobinei iar după acționarea contactorului contactul K (3-5) deschizându-se rezistența R este înseriată cu bobina contactorului reducând mult valoarea curentului ce parcurge bobina. Scade astfel solicitarea termică a bobinei şi consumul.



a) b)

Figura 2.13. Schema completă (de lucru) şi Schema electrică desfăşurată (funcțională) pentru alimentarea şi comanda unui contactor bipolar de c.c. acționat de un electromagnet de c.c.

Pentru contactoare de c.a. care alimentează consumatori cu şocuri mari de curent în momentul anclanşării nu se pot face conectări la frecvențe mari şi de aceea se recomandă acționarea cu electromagneți de c.c. alimentați prin punți redresoare.



a) b)

Figura 2.14. Schema completă şi Schema electrică desfăşurată pentru alimentarea şi comanda unui contactor trifazat acționat de un electromagnet de c.c.

În figura 2.14. este prezentată schema de lucru şi schema electrică desfăşurată pentru alimentarea şi comanda unui contactor trifazat acţionat de un electromagnet de c.c.. Funcţionarea schemei este similară schemei precedente doar că alimentarea bobinei de c.c. a electromagnetului de acţionare se face prin puntea redresoare V de la tensiunea de fază a reţelei trifazate. Rolul rezistenţei economizatoare R este acelaşi ca la schema precedentă.

Toate schemele prezentate pot fi completate cu circuite de semnalizare formate din becuri înseriate cu contacte auxiliare NI sau ND ale contactorului şi care semnalizează poziţia acţionat sau neacţionat a contactorului.

2.2. CONTACTOARE STATICE

Odată cu dezvoltarea unor componente semiconductoare pentru curenţi intenşi şi la preţuri accesibile, a apărut posibilitatea introducerii lor în tehnica comutaţiei ca înlocuitoare pentru contactoarele electromagnetice.

Contactoarele statice folosesc dispozitive semiconductoare de putere cum sunt dioda, tiristorul diacul sau triacul.

Structura circuitului energetic al contactoarelor statice de c.c. şi c.a. este asemănătoare cu a variatoarelor, diferind doar dispozitivul de comandă ce are de regulă o structură mai simplă în concordanţă cu regimul de comutaţie. Contactoarele statice pot întrerupe şi conecta sarcini la comenzi individuale sau periodice.

Deoarece contactoarele statice pot fi privite ca variatoare ce funcţionează în regim închis-deschis, funcţionarea lor poate fi dedusă prin analogie cu funcţionarea variatoarelor statice.

2.2.1. Contactoare statice de curent alternativ

Pentru analiza fenomenelor ce au loc în cazul comutaţiei statice de c.a. considerăm un contactor static de c.a. monofazat cu tiristoare ideale, legate în antiparalel alimentat cu o tensiune sinusoidală. Considerăm parametrii sarcinii R, L constanţi. Pentru ca circuitul consumatorului (R, L) să fie parcurs de curent se comandă cele două tiristoare T_1 şi T_2 fiecare semiperioadă, în mod alternativ. La întreruperea comenzilor se va întrerupe şi curentul din circuit.

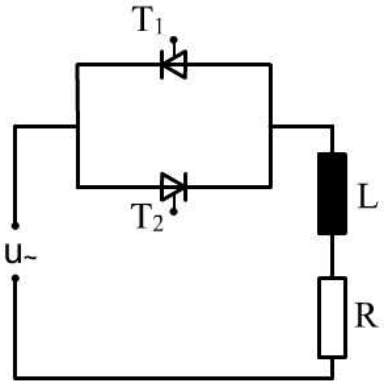


Figura 2.15. Schema de principiu a unui contactor static de c.a. monofazat

Dacă se ia ca origine momentul trecerii prin „0“ spre valori pozitive a tensiunii de alimentare, ecuația diferențială a circuitului din figura 2.15. este:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + Ri = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \omega t \qquad (2.5.)$$

Soluția acestei ecuații este suma dintre termenul corespunzător regimului permanent şi cel corespunzător regimului tranzitoriu.

$$i = i_p + i_t \qquad (2.6.)$$

unde:

$$i_p = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(\omega t - \varphi) \qquad (2.7.)$$

$$\text{în care: } tg\varphi = \frac{\omega L}{R} \qquad (2.8.)$$

Soluția pentru i_t se deduce din i_p luând în considerare condițiile inițiale. Astfel, dacă comanda tiristorului T_1 se face la momentul $\omega t = \alpha$, datorită inductivității circuitului în primul moment, curentul total este 0.

Rezultă:

$$i_t = i_{p(\alpha)} e^{-\frac{\omega t - \alpha}{\omega T}} = -\frac{\sqrt{2} \cdot U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}} \cdot e^{-\frac{\omega t - \alpha}{\omega T}} \cdot \sin(\alpha - \varphi) \qquad (2.9.)$$

Am notat cu T constanta electrică a circuitului:

$$T = \frac{\omega \cdot L}{R} \qquad (2.10.)$$

Soluția generală are deci forma următoare:

$$i = \frac{\sqrt{2}\cdot U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}\left[\sin(\omega t - \varphi) - e^{-\frac{R}{\omega \cdot L}(\omega t - \alpha)}\sin(\alpha - \varphi)\right] \qquad (2.11.)$$

Se observă că în cazul particular $\alpha = \varphi$, termenul tranzitoriu din soluția generală (2.11.) dispare şi deci în circuit se stabileşte de la început regimul permanent. În cazul în care $\alpha < \varphi$, termenul tranzitoriu este pozitiv şi deci după comanda contactorului static primele amplitudini pozitive sunt mai mari decât cele negative, iar în cazul $\alpha > \varphi$ situația este inversă. Se mai constată că la un circuit puternic inductiv $\varphi \approx \pi/2$ şi la

$\alpha = 0$, primul maxim al curentului are valoarea dublă față de valoarea maximă din regimul permanent ce are loc pentru $\omega t = \pi / 2$.

Schema prezentată în figura 2.15. deşi simplă prezintă următoarele dezavantaje: necesită două dispozitive de comandă izolate galvanic între ele iar în cazul apariției unei supratensiuni dinspre rețea sau datorate sarcinii tiristoarele se pot distruge. Dacă la apariția unei supratensiuni tiristorul care este polarizat direct nu amorsează celălalt tiristor se poate străpunge.

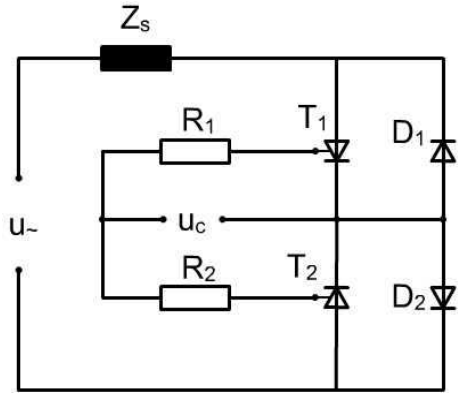


Figura 2.16. Contactor static de c.a. cu punte redresoare semicomandată

Pentru eliminarea acestui defect se poate folosi schema din figura 2.16. în care catozii tiristoarelor sunt legați direct la o punte redresoare semicomandată şi în antiparalel cu fiecare tiristor s-a montat câte o diodă care nu permite apariția unor tensiuni inverse (se asigură astfel protecția la supratensiuni.

Schema din figura 2.16. utilizează un singur dispozitiv de comandă deoarece tiristoarele au catodul comun.

Dacă dorim să reducem numărul de tiristoare putem utiliza schema unui contactor static cu un singur tiristor montat în brațul unei punți cu diode prezentată în figura 2.17.

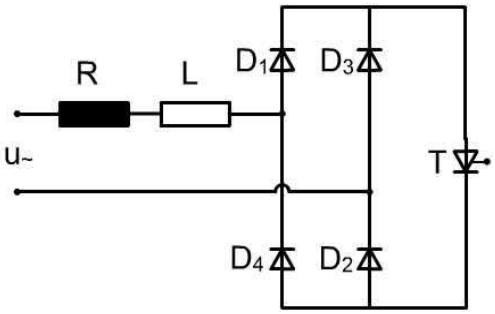


Figura 2.17. Contactor static de c.a. cu un singur tiristor.

În această schemă folosim patru diode şi facem economie de un tiristor. Tiristorul trebuie însă să conducă în ambele alternanţe ale curentului alternativ, de aceea comanda lui trebuie să fie permanentă sau sincronă la începutul fiecărei semiperioade, ceea ce face ca solicitarea termică a tiristorului T să fie chiar mai mare decât dublă (lipseşte pauza de curent pe o semiperioadă) faţă de schemele anterioare.

Un dezavantaj al schemei este acela că, la funcţionarea contactorului cu sarcină rezistiv-inductivă, în momentul ieşirii din conducţie a tiristorului, pe tiristor apare brusc tensiunea sursei ceea ce poate duce la pierderea controlului asupra comenzii tiristorului, acesta rămânând în conducţie tot timpul.

Contactoarele statice de curent alternativ se pot realiza şi cu ajutorul unui triac care înlocuieşte cele două tiristoare montate în antiparalel. O astfel de schemă este prezentată în figura 2.18..

Triacul îndeplineşte funcţia a două celor două tiristoare în antiparalel iar grupul R, C realizează o reducere a vitezei de creştere a tensiunii pe triac, fiind indispensabil în cazul sarcinilor puternic inductive.

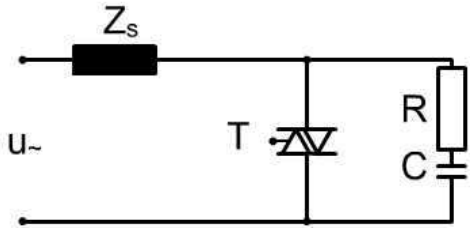


Figura 2.18. Contactor static de c.a. cu triac.

Dintre schemele de contactoare statice de c.a. prezentate cea mai mare cădere de tensiune pe tiristor este în cazul schemei din figura 2.17.

Structura dispozitivelor de comandă ale contactoarelor de c.a. depinde de natura ventilelor semiconductoare folosite (tiristoarele sau triacuri) şi de

regimul de funcționare.

Dacă trebuie să comutăm o sarcină trifazată vom folosi contactoare statice trifazate. În cazul consumatorilor trifazați se pot folosi contactoare statice monofazate pentru fiecare fază, sau contactoare statice cu o structură proprie specifică contactoarelor statice trifazate.

În figura 2.19. am prezentat schema electrică a unui contactor trifazat.

Schema prezentată în figura 2.19. utilizată în cazul conectării motoarelor asincrone cu puteri mici (200-1000 W), cu o frecvență de conectare mare (2000-10.000 conectări/h) şi durata relativă de acționare DA = 25 - 60%.

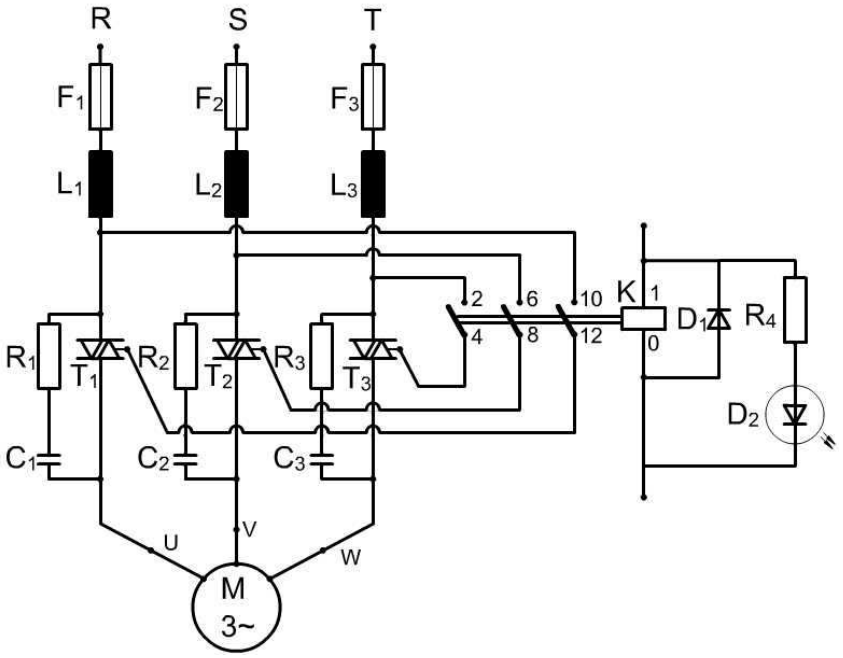


Figura 2.19. Schema unui contactor trifazat ce utilizează triacuri.

În această schemă ventilul semiconductor este triacul. Protecția împotriva scurtcircuitelor este asigurată de siguranțele fuzibile F_1, F_2, F_3, iar inductivitățile L_1, L_2, L_3 au rolul de reducere a pantei di/dt a curentului de scurtcircuit. Filtrele RC asigură protecția împotriva supratensiunilor. Acționarea contactorului este comandată de un releu reed K trifazat excitat la 24 V c.c., iar semnalizarea închiderii se face prin dioda luminiscentă D_2.

2.2.2. Contactoare statice de curent continuu

Spre deosebire de contactoarele de c.a. la care stingerea tiristoarelor are loc în mod natural la trecerea prin zero a curentului comutat, contactoarele de c.c. funcționează cu comutație forțată fiind necesare circuite speciale pentru

stingerea tiristorului care a condus curentul. În schimb nu sunt necesare circuite speciale pentru comanda grilelor tiristoarelor.

Deoarece tiristoarele nu pot fi blocate prin intermediul comenzii pe grila, în structura contactoarelor de c.c. este existența prezența unei ramuri de comutație. La majoritatea contactoarelor de c.c. folosite în industrie, blocarea tiristorului principal se realizează prin aplicarea unei tensiuni inverse pe tiristorul principal obținute de la un condensator.

În momentul în care se doreşte blocarea tiristorului principal, ramura de comutație este conectată în paralel cu tiristorul principal, cu ajutorul unui tiristor auxiliar, astfel încât tensiunea condensatorului să forțeze prin tiristorul principal un curent invers care anulează curentul inițial blocând tiristorul. În funcție de modul în care se realizează încărcarea condensatorului din ramura de comutație, deosebim mai multe scheme de contactoare statice de c.c. prezentate schematic în figurile următoare.

În figura 2.20. este prezentată schema unui contactor static de curent continuu, cu circuit de încărcare R, C. Aplicând un impuls de comandă polarizat pozitiv pe poarta tiristorului principal T_1, aceasta intră în conducție şi curentul alimentează consumatorul Z_s. Tiristorul auxiliar T_2 fiind blocat, condensatorul C se încarcă prin rezistența R cu tensiunea sursei şi polaritatea pozitivă. Pentru a întrerupe alimentarea sarcinii se comandă intrarea în conducție a tiristorului auxiliar T_2, care descarcă condensatorul C peste tiristorul principal T_1. Prin anularea curentului prin tiristorul principal T_1 (polarizat invers de condensatorul C) acesta se blochează, iar condensatorul C se încarcă prin impedanța sarcinii Z_s şi tiristorul T_2 la polaritatea inversă față de situația anterioară (polaritatea prezentată în paranteză). Tiristorul T_2 continuă să conducă un curent mic, limitat de rezistența R de valoare mare. La o nouă comandă a tiristorului principal T_1, acesta intră din nou în conducție, condensatorul C este legat în paralel pe tiristorul T_2 polarizându-l în sens invers şi determinând ieşirea lui din conducție.

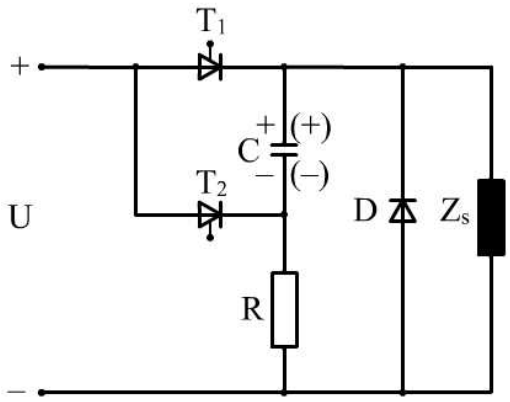


Figura 2.20. Contactor static de c.c. cu circuit de încărcare R, C.

Prin tiristorul T_1 se alimentează consumatorul Z_s şi prin rezistența R condensatorul C se încarcă cu polaritatea inițială, schema revenind la situația inițială. Acest contactor de c.c. se foloseşte la frecvențe de comutație reduse datorită timpului necesar încărcării condensatorului.

Pentru a asigura blocarea tiristoarelor este necesar ca valoarea condensatorului C să fie suficient de mare, astfel ca procesul de încărcare al condensatorului să aibe o durată suficient de mare, asigurând polarizarea inversă a tiristorului care se blochează pe un interval de timp mai mare decât timpul de revenire a tiristorului. Din teoria variatoarelor de c.c., (contactorul de c.c. fiind un caz particular al unui variator de c.c.) rezultă că pe rezistența şi inductivitatea de sarcină, după comanda de blocare a tiristorului principal, apare o tensiune tranzitorie ce poate atinge valoarea 2U, motiv pentru care se foloseşte dioda de mers în gol D pentru amortizarea supratensiunilor ce apar.

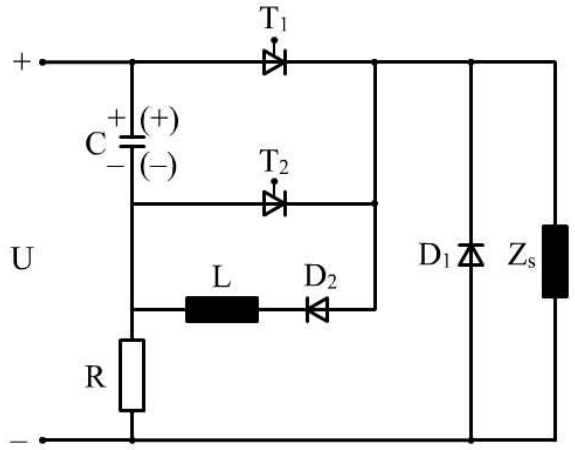


Figura 2.21. Contactor static de c.c. cu circuit de încărcare L, C.

Pentru frecvențe mari de comutație se utilizează contactoare statice de c.c., cu circuit de încărcare L, C,. Un exemplu de contactor static de c.c. folosit la frecvențe mari de comutație este prezentat în figura 2.21.. Funcționarea acestui contactor este condiționată de aplicarea primului impuls de comandă, tiristorului auxiliar T_2. În caz contrar funcționarea contactorului nu este posibilă, deoarece la comutarea directă a tiristorului principal, condensatorul este descărcat. Astfel prin comanda lui T_2 condensatorul C se încarcă la tensiunea sursei şi polaritatea din figura 2.21.. Conducția este asigurată prin sarcina Z_s. La sfârşitul procesului de încărcare a condensatorului curentul ia valoarea 0, iar conducția prin tiristorul T_2 încetează.

Condensatorul C fiind încărcat la tensiunea de la borne U, la comutarea tiristorului T_1, circuitul de sarcină Z_s este legat la sursa de alimentare, iar în

circuitul oscilant T_1, D_2, L, C, curentul variază sinusoidal conform relației:

$$i_c = \frac{U}{\omega L}\sin \omega t \qquad (2.12.)$$

unde:
$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}; T_c = 2\pi\sqrt{LC} \qquad (2.13.)$$

Deoarece dioda D_2 nu permite trecerea curentului în sens invers, curentul se anulează după o semiperioadă (T/2), iar tensiunea pe condensator își schimbă polaritatea (conform polarității din paranteză). Pentru deconectarea consumatorului se aplică un impuls de comandă tiristorului auxiliar T_2, care conectează în paralel peste tiristorul T_1 condensatorul C cu polaritatea inversă față de sensul de conducție al tiristorului T_1. Curentul principal este anulat prin tiristorul principal T_1, iar condensatorul se descarcă şi se încarcă apoi cu polaritatea inițială. După terminarea procesului de încărcare tiristorul T_2 se blochează, iar schema este pregătită pentru o nouă conectare.

Dioda D_1 are rolul de a elimina supratensiunile de comutație, în cazul sarcinilor inductive. La frecvențe de comutație mici există pericolul descărcării condensatorului prin rezistența inversă a ventilelor semiconductoare şi prin rezistența dielectricului. Descărcarea condensatorului are ca urmare imposibilitatea blocării tiristorului principal. Pentru evitarea acestui fenomen s-a introdus în circuit rezistența R.

Următoarea schemă de contactor static de c.c. prezentată în figura 2.22. foloseşte un condensator montat în brațul unei punți de tiristoare.

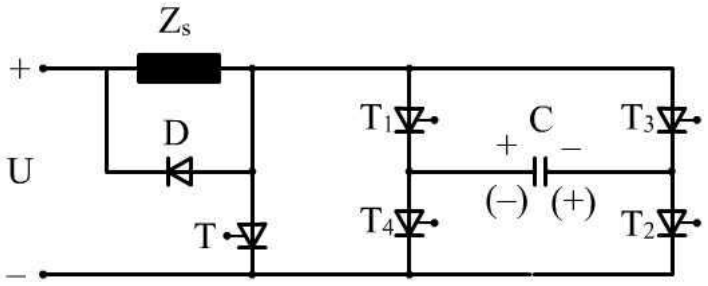


Figura 2.22. Contactor static de c.c. cu condensatorul montat în brațul unei punți cu tiristoare.

La început se comandă tiristoarele auxiliare T_1 si T_2 şi condensatorul C se încarcă la polaritatea din figură, după care cele două tiristoare se blochează.

Prin comanda tiristorului principal T, consumatorul Z_s este străbătut de curentul de sarcină. Oprirea funcționării consumatorului se face prin comanda

tiristoarelor auxiliare T_3 si T_4, când condensatorul C se polarizează invers tiristorul principal T provocând blocarea lui.

Un timp circuitul se închide prin T_3, C şi T_4, încărcând condensatorul cu polaritatea inversă (din paranteze). După încărcarea condensatorului, tiristoarele T_3 şi T_4 se blochează.

Pentru o nouă acţionare se comandă tiristorul T, iar pentru o nouă oprire se comandă tiristoarele auxiliare T_1 si T_2. Procesul se reia la fiecare comutaţie.

Din analiza modului de funcţionare a contactoarelor statice de c.a. şi a celor de c.c. rezultă avantajele şi dezavantajele folosirii lor în aplicaţiile industriale şi domeniile în care este recomandată utilizarea lor. Subliniem câteva caracteristici ale regimului de funcţionare a contactoarelor statice.

Recapitulând cele mai importante aspecte legate de funcţionarea contactoarelor statice de c.a. şi c.c. rezultă că spre deosebire de contactoarele de c.a., contactoarele de c.c. funcţionează cu comutaţie forţată fiind necesare circuite speciale pentru stingerea tiristorului principal, în schimb nu sunt necesare circuite speciale pentru comanda grilelor tiristoarelor.

La majoritatea contactoarelor de c.c. în structura lor este necesară prezenţa unei ramuri de comutaţie.

La contactoarele de c.c. blocarea tiristorului principal se realizează prin aplicarea unei tensiuni inverse obţinute de la un condensator. În momentul în care se doreşte blocarea tiristorului principal, ramura de comutaţie este conectată în paralel cu tiristorul principal, cu ajutorul unui tiristor auxiliar, astfel încât tensiunea condensatorului să forţeze un curent invers prin tiristorul principal pentru al stinge.

Pentru frecvenţe mari de comutaţie se utilizează contactoare statice de c.c., cu circuit de încărcare L, C.

La frecvenţe de comutaţie mici existând pericolul descărcării condensatorului prin rezistenţa inversă a ventilelor şi prin rezistenţa dielectricului se introduce o rezistenţă suplimentară pentru evitarea acestui fenomen.

Contactoarele statice de c.c. se pot realiza şi cu punte redresoare comandată pentru evitarea fenomenului de blocare a tiristorului principal. În acest sens, se utilizează un condensator montat în braţul unei punţi de tiristoare.

Contactoarele statice de c.a. se pot realiza cu punte redresoare semicomandată, la care catozii tiristoarelor sunt legaţi direct, iar fiecare tiristor are montat în antiparalel cu câte o diodă care nu permite apariţia unor tensiuni inverse pe tiristoare şi deci asigură protecţia la supratensiuni.

La contactoarele statice de c.a. cu doua tiristoare în antiparalel structura este simplă şi fiabilă permiţând utilizarea unui singur dispozitiv de comandă,

deoarece tiristoarele au catodul comun.

Figura 2.23 Contactoare statice

Contactoarele statice de c.a. se pot realiza şi cu un triac care înlocuieşte cele două tiristoare montate în antiparalel. Grupul R, C realizează o reducere a vitezei de creştere a tensiunii pe triac, fiind indispensabil în cazul sarcinilor puternic inductive.

2.2.3. Contactoare hibride

Din dorința de a elimina dezavantajele şi a păstra avantajele folosirii contactoarelor statice sau electromagnetice au fost fabricate contactoare hibride, realizate prin conectarea unui contactor static cu un contactor electromagnetic.

Contactoarele hibride sunt utilizate pentru curenți intenşi, ele fiind compuse din elemente semiconductoare pentru preluarea regimului tranzitoriu la închidere şi un contactor electromagnetic pentru poziția închis (în regim permanent).

Pe fiecare fază a contactorului se foloseşte un tiristor şi o diodă în antiparalel, ca la contactoarele statice de c.a. monofazate şi contactul normal deschis al unui contactor electromagnetic K.

Cum alimentarea şi întreruperea funcționării contactorului hibrid se realizează prin intermediul tiristoarelor, contactorul funcționează fără arc electric nefind prevăzut cu camere de stingere ca la contactoarele electromagnetice de c.c. si c.a., ceea ce elimină uzura termică a contactelor.

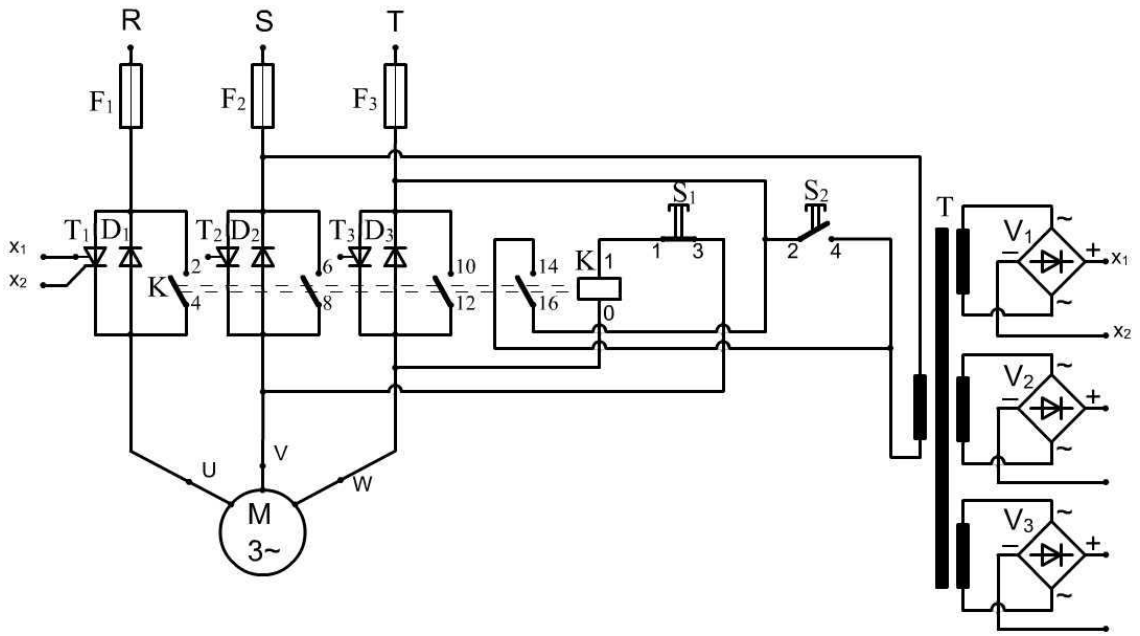


Figura 2.24. Contactor trifazat hibrid.

Impulsul de comandă necesar intrării în conducție a tiristoarelor T_1, T_2, T_3 se obține de la punțile redresoare montate în trei înfăşurări secundare ale transformatorului T. Pentru a realiza poziția închis (alimentarea motorului M), se apasă pe butonul de pornire S_2, se alimentează, astfel primarul transformatorului T, iar tiristoarele primesc comenzile de conducție de la cele trei înfăşurări secundare ale transformatorului, prin intermediul punților redresoare. În acest fel motorul electric este alimentat, iar la bornele K (0-1) se obține tensiunea necesară excitării contactorului electromagnetic K. Acesta îşi închide contactele principale K (2-4, 6-8, 10-12) prin care se scurtcircuitează tiristoarele şi prin închiderea lui K (14-16) se realizează automenținerea alimentării contactorului, după revenirea butonului de pornire S_2. Pentru realizarea poziției deschis (oprirea motorului) se apasă pe butonul de oprire S_1, oprindu-se alimentarea bobinei contactorului K, care îşi deschide contactele principale K (2-4, 6-8, 10-12). Cum contactul de automenținere K (14-16) este prevăzut cu o temporizare la deschidere, pentru un scurt timp alimentarea motorului se face prin tiristoare şi diode, până când tensiunea de comandă a tiristoarelor este anulată, moment în care motorul M rămâne nealimentat. Cum alimentarea şi întreruperea funcționării acestui contactor hibrid se realizează prin intermediul tiristoarelor, el funcționează fără arc electric, nefind prevăzut cu camere de stingere.

2.3. RELEE INTERMEDIARE

Când în circuitele de comandă sunt necesare mai multe contacte auxiliare sau amplificarea unui curent de ieşire a unor circuite electronice se folosesc relee auxiliare care deşi nu sunt nişte aparate electrice de comutaţie propriu-zise, pot fi folosite în acest scop.

Aceste relee se utilizează în special în instalaţiile de automatizare, comandă şi semnalizare, ca elemente amplificatoare cu o funcţionare discontinuă şi acţionate de electromagneţi.

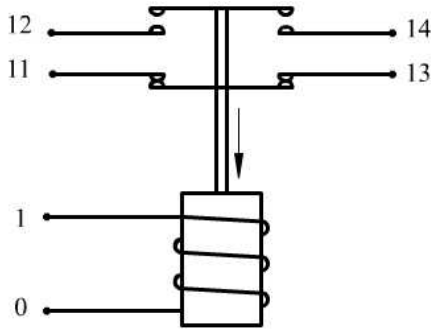


Figura 2.25. Schema de principiu a unui releu intermediar

În figura 2.25. este reprezentat schematic un releu intermediar cu mişcare de translaţie, având un contact normal deschis (12-14) şi unul normal închis (11-13). La primirea unui semnal la bornele bobinei de excitaţie 1-2, releul acţionează cvasi-instantaneu (în aproximativ 0,04 s) provocând închiderea contactului ND şi deschiderea celui NI. Releele intermediare sunt în general relee secundare acţionate de alte relee primare, de curent sau de tensiune.

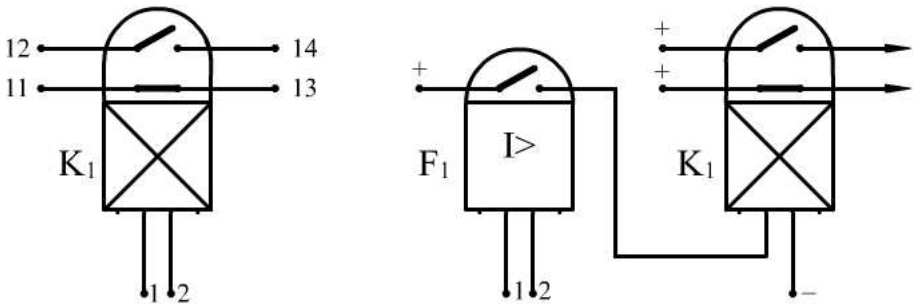


Figura 2.26. Reprezentarea în schemele electrice a unui releu intermediar şi a unui releu intermediar conectat la ieşirea unui releu maximal de curent.

De obicei releele intermediare au în circuitul de ieşire au mai multe contacte normal deschise şi normal închise (până la 32 contacte).

Din punct de vedere constructive se pot realiza cu armătura basculantă, sau cu mişcare de translaţie pe verticală şi pot fi realizate cu acţiune instantanee sau temporizată.

2.3.1. Relee miniaturizate

Nevoia miniaturizării aparatelor electrice a apărut atât din nevoia economisirii energiei electrice cât şi a reducerii gabaritului echipamentelor electrice, mai ales a celor ce intră în componenţa circuitelor electronice.

Figura 2.27. Variante constructive de relee electromagnetice miniaturizate.

Acest lucru este evident atât la noile variante constructive ale releelor electromagnetice clasice, cât mai ales la releele electronice, ca urmare a dezvoltării circuitelor integrate. Releele au devenit parteneri importanţi în realizarea montajelor electronice. Ele îndeplinesc pe lângă funcţia clasică de interfaţare şi protecţie şi un rol de separare galvanică între circuitele de intrare şi de ieşire, adică între bobine şi contacte.

Conectarea acestor relee în circuitele imprimate se face prin intermediul unor picioruşe care se introduc în socluri special construite.

Forma constructivă a unui releu miniaturizat de tip clapetă, pentru curenţi nominali de până la 6 A, este prezentată în figura 2.26. unde sunt prezentate principalele sale elemente componente.

Pentru a evita murdărirea contactelor, releul este introdus într-o carcasă izolantă. Pentru a se evita oxidarea contactelor se realizează variante constructive de relee electromagnetice miniaturizate capsulate, având în interior un gaz protector. Releele sunt capsulate într-o carcasă din răşină epoxidică. Forma constructivă a circuitului magnetic permite o reducere majoră a fluxurilor de dispersie şi prin aceasta reducerea consumului de

energie absorbit de bobina releului.

2.3.2. Relee Reed

Gradul maxim de miniaturizare a releelor electromagnetice îl reprezintă releele Reed. Derivate din releele electromagnetice, releele reed constau dintr-un tub de sticlă închis în care se găsesc două lamele elastice. În zona contactului, pe suprafața lamelelor este dispus un strat de iridiu, platină sau aliaje ale acestora. Tubul de sticlă este vidat sau este umplut de un gaz inert (azot, argon). Acționarea contactului se face cu ajutorul unui câmp magnetic creat de un magnet permanent sau de o bobină parcursă de curentul i.

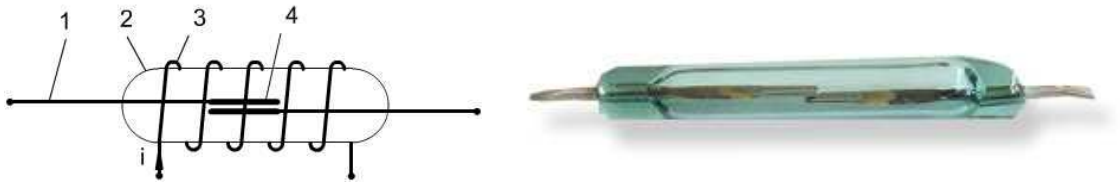


Figura 2.28. Releu Reed.
1-Bornă, 2-Tub de sticlă, 3-Bobinaj, 4-Contact.

Condiția de acționare a releului Reed este:

$$Fa = \phi^2/2\mu_0 A > Fr = \delta\gamma/2 \qquad (2.14.)$$

În care: Fa = forța activă; F_r = forța rezistentă; ϕ = fluxul care străbate spațiul dintre lamele; A = aria suprafeței pe care lamelele se suprapun; δ = distanța dintre lamele; γ = coeficientul de elasticitate al materialului lamelelor.

În prezent, releele Reed se realizează sub formă de elemente capsulate paralelipipedice din mase răşinoase, în care se introduc tubul şi bobina releului, la exterior aflându-se doar picioruşele metalice pentru conexiuni.

Pelicula de metal nobil şi atmosfera inertă protejează contactele de oxidare, fapt care le conferă o rezistență de contact foarte scăzută. Releele reed au un consum de energie neglijabil, timp de acționare mic, de ordinul unei milisecunde, frecvența de comutare mare (500 comutări pe secundă), durata de viață ridicată (10^8-10^{12}comutații). Ele pot avea unul sau mai multe contacte, normal deschise sau normal închise şi au o funcționare mono sau bistabilă. Cu toate că au dimensiuni foarte mici aceste relee au performanțe deosebite şi sunt compatibile cu circuitele logice TTL.

Acționarea releelor reed poate fii comandată şi prin intermediul unui magnet permanent, caz în care armătura feromagnetică, sub acțiunea

câmpului magnetic dat de polii unui magnet permanent, basculează ducând la modificarea poziției contactelor sale.

Pentru a mări şi mai mult performanțele acestor relee s-au realizat relee reed polarizate. La aceste relee pe lângă înfăşurarea de excitație se utilizează şi un magnet permanent al cărui câmp magnetic întăreşte câmpul magnetic al bobinei de acționare, astfel încât permite atingerea forței de acționare, cu un curent de excitație mai mic şi fără saturația circuitului magnetic. Eficiența releelor Reed polarizate este de aproximativ 10 ori mai mare decât a celor nepolarizate.

Releele Reed de construcție modernă au în interiorul lor şi un getter, cu rol de absorție a gazelor pentru a păstra atmosfera de gaz inert un timp cât mai îndelungat.

Miniaturizarea releelor continuă prin implicarea componentelor electronice discrete (diode, tranzistoare), circuite integrate (amplificatoare operaționale), circuite digitale şi circuite specializate.

2.4. ÎNTRERUPĂTOARE AUTOMATE DE JOASĂ TENSIUNE

Întrerupătoarele automate sunt aparate electrice de comutație, care în regim normal de funcționare permit conectarea şi deconectarea cu frecvență redusă a circuitelor electrice, iar în caz de suprasarcină, scurtcircuit, scăderea sau dispariția tensiunii, asigură protecția prin intermediul declanşatoarelor, întrerupând automat circuitele aflate în regim de avarie.

Întrerupătoarele automate se folosesc la protecția instalațiilor de iluminat, a motoarelor electrice, a rețelelor de distribuție, tablourile de distribuție din centrale electrice şi din posturile de transformare sau a altor consumatori. Ele sunt folosite împreună cu siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere ce asigură un efect de limitare a curenților de scurtcircuit. Întrerupătoarele automate se folosesc în instalații de curent continuu şi curent alternativ şi comparativ cu siguranțele fuzibile au funcțiuni multiple şi permit reglarea mai exactă a curentului la care întrerup circuitul în regim de avarie.

Fiind destinate protecției transformatoarelor, motoarelor şi liniilor electrice de distribuție, întrerupătoarele sunt solicitate intens termic şi mecanic sub acțiunea curenților de scurtcircuit.

Ruperea curenților de scurtcircuit este asigurată atât prin dispozitive adecvate de stingere a arcului electric (camere de stingere performante) cât şi prin deschiderea rapidă a contactelor mobile cu ajutorul unor arcuri puternice.

Întrerupătoarele automate de joasă tensiune sunt aparate electrice cu cel puțin un element mobil pe durata efectuării comutației.

Variantele constructive actuale sunt de tipul disjunctor, numai cu

declanşare automată, închiderea făcându-se manual, fie prin acțiune directă, fie prin comandă de la distanță.

În cazuri speciale se construiesc întrerupătoare automate de joasă tensiune de tipul disjunctor-conjunctor, adică cu reanclanşare automată, funcțiune specifică întrerupătoarelor automate de înaltă tensiune.

Spre deosebire de contactoare, întrerupătoarele automate sunt menținute în poziția anclanşat de un mecanism de zăvorâre (broască), mecanic sau electromecanic, asupra căruia acționează declanşatoarele: termobimetalice (cu acțiune temporizată), electromagnetice (cu acțiune instantanee) sau declanşatoarele minimale de tensiune.

2.4.1. Clasificarea întrerupătoarelor automate de joasă tensiune

Întrerupătoarele automate de joasă tensiune se pot clasifica după mai multe criterii.

A. După funcțiile de protecție, care determină declanşările automate, întrerupătoarele se împart în:

– întrerupătoare automate de curent maxim,
– întrerupătoare automate de curent minim,
– întrerupătoare automate de curent invers,
– întrerupătoare automate de tensiune minimă,
– întrerupătoare automate de tensiune maximă.

Există întrerupătoare automate care cumulează mai multe funcții de protecție: de exemplu, pentru curent maxim, curent invers şi tensiune minimă.

B. După numărul polilor, întrerupătoarele automate pot fi:
– monopolare,
– bipolare,
– tripolare sau
– tetrapolare.

C. După felul curentului comutat:
– întrerupătoare de c.c.

– întrerupătoare de c.a. monofazate,

– întrerupătoare trifazate.

D. După mediul de stingere a arcului pot fi:
– în ulei,
– în aer.

E. Din punctul de vedere al **timpului propriu de declanşare** întrerupătoarele se clasifică în:

– întrerupătoare limitatoare (ultrarapide), cu timpi de declanşare $t_d < 4$ ms,

– întrerupătoare automate rapide, cu $t_d < 40$ ms

– întrerupătoare automate selective, cu $t_d < 0,5$ s

– întrerupătoare automate temporizate $t_d > 1$ s.

F. Din punct de vedere **funcțional şi constructiv** întrerupătoarele automate se clasifică:

- întrerupătoare universale (în execuție deschisă),
- întrerupătoare capsulate (în carcasă din material plastic).

2.4.2 Elementele constructive ale întrerupătoarelor automate

Principalele părți constructive ale întrerupătoarelor automate sunt:

– organul motor (format dintr-un electromagnet sau un motor de acționare);

– contactele principale (fixe şi mobile);

– camera de stingere;

– contactele auxiliare (cuplate mecanic cu contactele principale);

– declanşatoare cu funcție de protecție (termobimetalice, electromagnetice);

– carcasa aparatului cu sisteme de fixare;

– mecanismul de zăvorâre sau broasca întrerupătorului;

Elementul caracteristic, în plus față de contactoare îl reprezintă tocmai acest din urmă element şi anume zăvorul sau broasca întrerupătorului, care este un mecanism cu liberă deschidere. Acest mecanism asigură menținerea în poziția anclanşat a contactelor întrerupătorului şi deschiderea automată a acestora sub acțiunea declanşatoarelor. De asemenea mecanismul trebuie să permită deschiderea contactelor la acționarea acestora, la comanda operatorului sau a declanşatoarelor şi să mențină întrerupătorul ferm în poziția deschis pentru evitarea închiderii accidentale a contactelor.

Denumirea de liberă deschidere a mecanismului de zăvorâre provine de la faptul că deschiderea contactelor, sub acțiunea declanşatoarelor, nu poate fi blocată printr-o acțiune din afara sistemului de acționare.

Cele mai utilizate variante constructive de zăvoare sunt:

– mecanisme cu clicheți rotativi;

– mecanisme cu pârghii articulate şi genunchi;

– mecanisme combinate cu pârghii, genunchi şi clichet.

În figura 2.28. este prezentat un mecanism cu clichet rotativ, des utilizat la întrerupătoarele automate de joasă tensiune. Funcționarea lui prezentată în figură constă în trei etape:

a) poziția armată a mecanismului;
b) poziția închis a întrerupătorului;
c) poziția deschis a întrerupătorului.

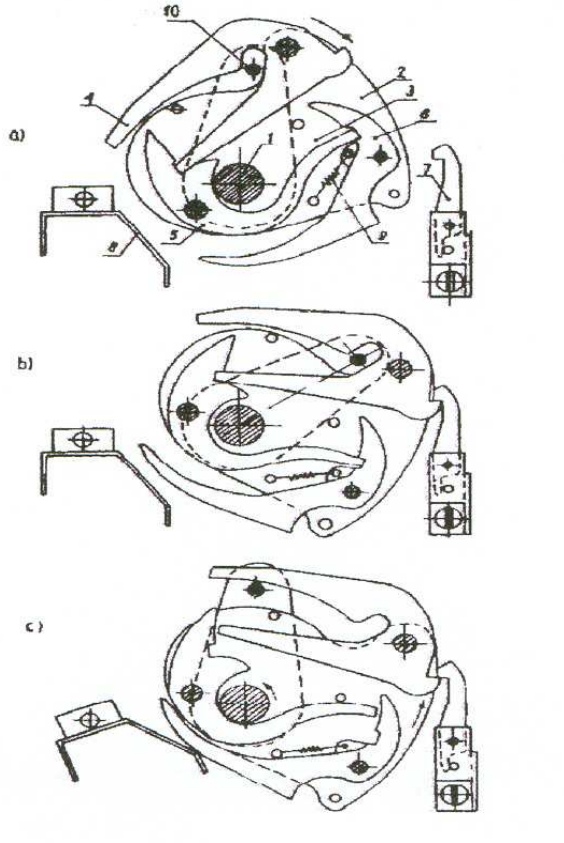


Figura 2.29. Funcționarea unui mecanism de zăvorâre cu clichet rotativ.

Zăvorul este format dintr-o casetă 2, care cuprinde în interior clicheții 4, 5 şi 6. În poziția armat a) clichetul 4 solidarizează axul contactelor 10 cu caseta 2. Pentru a ajunge la poziția închis a întrerupătorului b), se roteşte caseta în jurul axului 1, în sensul săgeții, până când agățătorul 7 blochează caseta.

Poziția axului 10 corespunzând în acest caz poziției închis a contactelor. Pentru închiderea întrerupătorului c), declanşatorul 8 acționează asupra clichetului 6, care prin rotirea în jurul axului său, permite clichetului 5 să se rotească. Prin rotirea clichetului 4, scăpat de interacțiunea cu clichetul 5, se eliberează axul contactelor 10, care sub acțiunea resoartelor revine în poziția inițială a). Agățătorul 7 se eliberează şi prin rotirea manuală se revine la poziția armat a).

O variantă des utilizată de mecanism de zăvorâre o reprezintă mecanismul cu

clichet care are o construcţie simplă şi fiabilă şi este prezentat în figura 2.30.

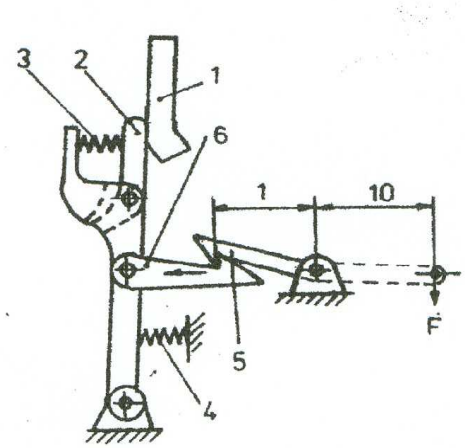


Figura 2.30. Mecanism de zăvorâre cu clichet.

Forţa de declanşare a resortului 4 este zăvorâtă de sistemul de clichet format din piesele 5 şi 6. Presiunea pe contactul electric (format din piesele 1 şi 2) este realizată prin intermediul resortului 3. Pentru deschiderea întrerupătorului şi deci eliberarea forţei resortului 4 (iniţial comprimat), se acţionează pârghia 5 cu forţa F. Raportul braţelor pârghiei 5 este 1: 1 0, pentru ca forţa F dezvoltată de declanşator să nu trebuiască să aibă o valoare prea mare.

Pentru a obţine performanţe mai bune ale mecanismelor de zăvorâre se folosesc mecanisme combinate, cu clicheţi şi pârghii genunchi ca cel prezentat în figura 2.30.

Schema cinematică a unui astfel de mecanism folosit la întrerupătoarele automate prezintă cele trei poziţii ale mecanismului:

a) poziţia armat a mecanismului;

b) poziţia închis a întrerupătorului;

c) poziţia deschis a întrerupătorului.

Poziţia a), adică întrerupătorul armat se obţine prin imobilizarea articulaţiei C cu ajutorul clichetului de decuplare Z (de forma unui semicilindru).

Pentru a ajunge în poziţia închis a întrerupătorului b), forţa de acţionare aplicată în punctul B se transmite printr-un sistem patrulater articulat CBA01, pârghiei 01A care are pe prelungirea ei contactul mobil ce se închide peste contactul fix. Pârghiile AB şi BC realizează poziţia de punct mort.

Pentru a ajunge în poziţia deschis c) se roteşte clichetul rotativ de decuplare Z în sensul arătat în figură. Sub acţiunea resortului R, pârghia 02C se roteşte în jurul punctului de articulaţie 02, determinând deplasarea pârghiilor BC şi AB iar prin rotirea pârghiei 01A în jurul punctului 01 se ajunge la deschiderea contactelor. Pentru a reveni în poziţia armat, mecanismul de acţionare deplasează punctul B în poziţia iniţială, după care prin rotirea cli-

chetului Z se blochează tija 02C împotriva tensiunii resortului antagonist R.

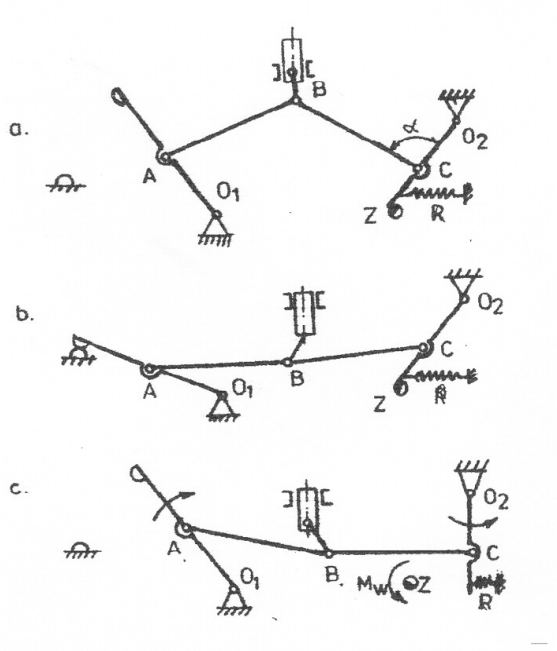


Figura 2.31. Mecanism de zăvorâre combinat.

Mecanismele de zăvorâre cu pârghii articulate şi genunchi constau din două pârghii 1 şi 2 articulate prin genunchiul G conform figurii 2.32.

În poziția a) mecanismul este armat. Pentru a trece din poziția a) în poziția b) adică cu întrerupătorul închis se acționează manual asupra pârghiei 3, genunchiul G ocupând în cele din urmă poziția care face ca contactul mobil 4 să se închidă peste contactul fix 5, comprimând resortul de declanşare 6.

Pentru a ajunge în poziția deschis a întrerupătorului c) declanşatorul va acționa asupra pârghiei 8 în sensul săgeții din figură, împotriva resortului 7. Astfel se dezăvorăşte pârghia 9 şi sub acțiunea resortului 6 contactele mobile 4 se deschid.

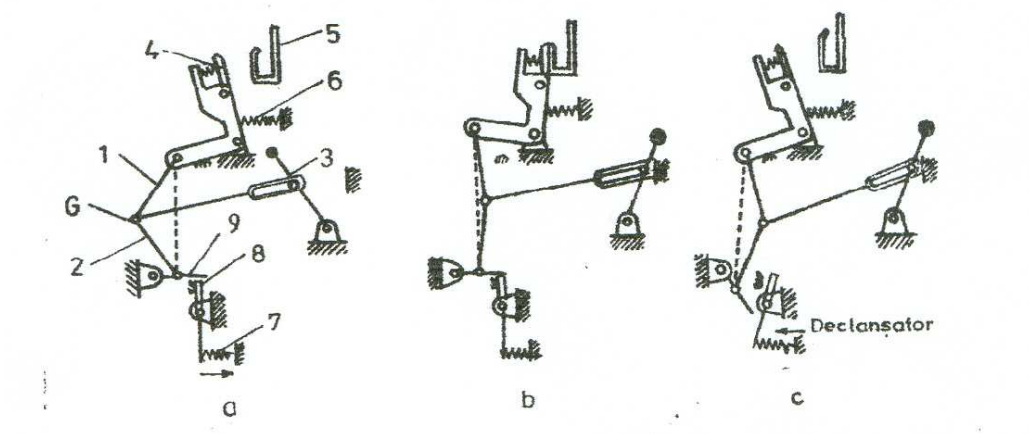


Figura 2.32. Mecanism de zăvorâre cu pârghii articulate şi genunchi.

Pentru o nouă anclanşare trebuie să se treacă prin poziția armat a) în urma rotirii manuale spre stânga a manetei 3. Astfel genunchiul G revine în poziția inițială a), iar pârghiile 8 şi 9 se zăvorăsc.

Dacă declanşarea întrerupătoarelor se realizează prin acționarea asupra zăvorului prin intermediul unor declanşatoare, anclanşarea întrerupătoarelor automate poate fi manuală, prin intermediul unei manete de acționare de pe aparat, sau comandată de la distanță printr-un electromagnet de anclanşare, servomotor sau dispozitiv pneumatic.

Electromagneții de acționare a întrerupătoarelor automate se deosebesc de cei care acționează contactoarele prin faptul că trebuie să dezvolte o forță mare într-un timp scurt, fiind dimensionați corespunzător acestei cerințe. După închiderea contactelor întrerupătorului acestea rămân blocate prin intermediul zăvorului mecanic şi electromagnetul trebuie decuplat de la rețea în mod automat.

2.4.3. Întrerupătoare automate de c.a.

Întrerupătoarele automate de c.a. se realizează în două forme constructive:

– întrerupătoare automate universale (în construcție deschisă).

– întrerupătoare automate de tip compact (în construcție capsulată).

Întrerupătoarele automate universale se clasifică în:

– întrerupătoare automate pentru instalații interioare, având curenții nominali I_n=6÷16 A şi capacitatea de rupere I_r=1÷2 kA.

– întrerupătoare automate de putere, cu I_n=1000÷4000 A şi I_r=50÷55 kA.

Întrerupătoare automate limitatoare, având timpi de acționare $t_a < 10$ ms, I_n=16÷2500 A şi I_r=25÷100 kA.

Dintre întrerupătoarele automate de putere fabricate la noi în țară amintim pe cele de tip OROMAX, AMRO, AMT şi DITA. În toate aceste aparate întreruperea arcului electric se realizează în camere de stingere care folosesc principiul efectului de electrod combinat cu efectul de nişă.

Pentru alimentarea consumatorilor de mică putere cele mai utilizate întrerupătoare automate de tip compact produse în țară sunt cele din gama întrerupătoarelor automate AMRO. Acestea se realizează în patru variante constructive: AMRO 25; AMRO 40; AMRO 100 şi AMRO 250.

Ele funcționează în curent alternativ la o tensiune de 500V şi o frecvență de 50Hz. Variantele AMRO 100 şi AMRO 250 pot funcționa şi în curent continuu la o tensiune de 220V.

Figura 2.33. Întrerupător automat capsulat AMRO 25.

Dintre numeroasele variante de întrerupătoare automate de tip capsulat care se găsesc pe piața românească unele dintre cele mai performante sunt cele produse de firma Moeller prezentate în figura 2.34.

Întrerupătoarele de tip compact (în construcție capsulată) se utilizează pentru comanda şi protecția la suprasarcină şi scurtcircuit a instalațiilor electrice industriale fiind caracterizate prin: capacitate ridicată de închidere şi rupere la gabarit redus; variante multiple de execuție; dispozitive de blocaj şi semnalizare ce asigură securitatea personalului şi siguranța în funcționare.

Figura 2.34. Variante constructive de întrerupătoare automate de tip compact.

Întrerupătoarele din clasa USOL se realizează pentru curenți nominali de 100, 250, 500 şi 800 A. Închiderea şi deschiderea contactelor principale ale acestor întrerupătoare se face brusc cu ajutorul unui mecanism cu genunchi şi clichet, cu anclanşare şi declanşare rapidă, independentă de viteza de manevrare a operatorului.

Camera de stingere este construită pe principiul efectului de electrod şi nişă. Aceste întrerupătoare sunt prevăzute cu declanşatoare maximale de curent, termice şi electromagnetice şi declanşator minimal de tensiune.

Puterea de rupere ridicată se obține prin marea rapiditate de răspuns a declanşatoarelor, viteza mare de deplasare a echipajului mobil, distanța mare între contactul mobil şi cel fix în poziția deschis şi utilizarea unor camere de stingere performante.

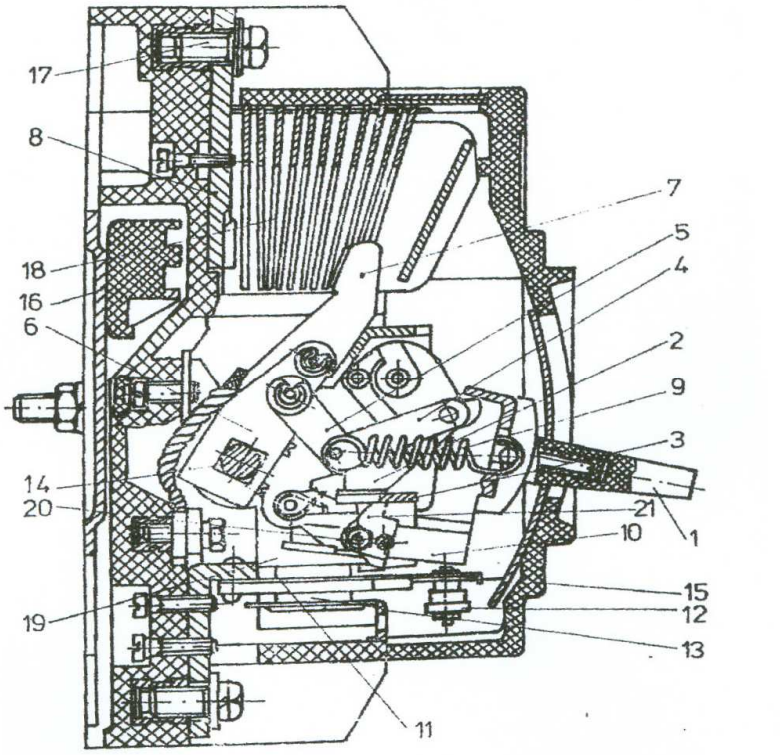


Figura 2.35. Secțiune prin întrerupătorul automat capsulat de tip USOL.

1-maneta de acționare, 2-clichetul principal, 3-clapeta de armare, 4,5-biele, 6-echipajul mobil, 7-contactul mobil, 8-contactul fix, 9-resort principal, 10-clapetă ax declanşator, 11-declanşator termic, 12-buton de reglaj, 13-armătura fixă a declanşatorului electromagnetic, 14-axul suport al echipajului mobil, 15-carcasa aparatului, 16-placă de prindere, 17-borne de racordare, 18-cameră de stingere cu plăci feromagnetice, 19-armătura mobilă a declanşatorului electromagnetic, 2o-axul declanşatorului, 21-clichet auxiliar.

Pentru închiderea întrerupătorului se deplasează în sus maneta 1, resortul 9 fiind puternic tensionat. Deschiderea întrerupătorului se face manual prin deplasarea în jos a manetei ceea ce conduce la desfacerea clichetului principal sau prin acționarea declanşatoarelor asupra clapetei 3.

După cum se constată din figură, în cazul acționării manuale maneta de acționare poate avea trei poziții: poziția intermediară (de mijloc), corespunzătoare figurii a) care indică declanşarea întrerupătorului prin declanşatoare termice, electromagnetice sau de tensiune minimă; poziția din figura b) care corespunde poziției armat a întrerupătorului şi poziția din figura c) corespunzătoare poziției închis a întrerupătorului.

În afara acționării manuale întrerupătoarele capsulate USOL pot fi acționate prin electromagneți de acționare sau prin motoare de acționare.

În figura 2.36. am reprezentat schema electrică de acționare şi comandă a întrerupătoarelor de tip USOL în varianta cu electromagnet de acționare.

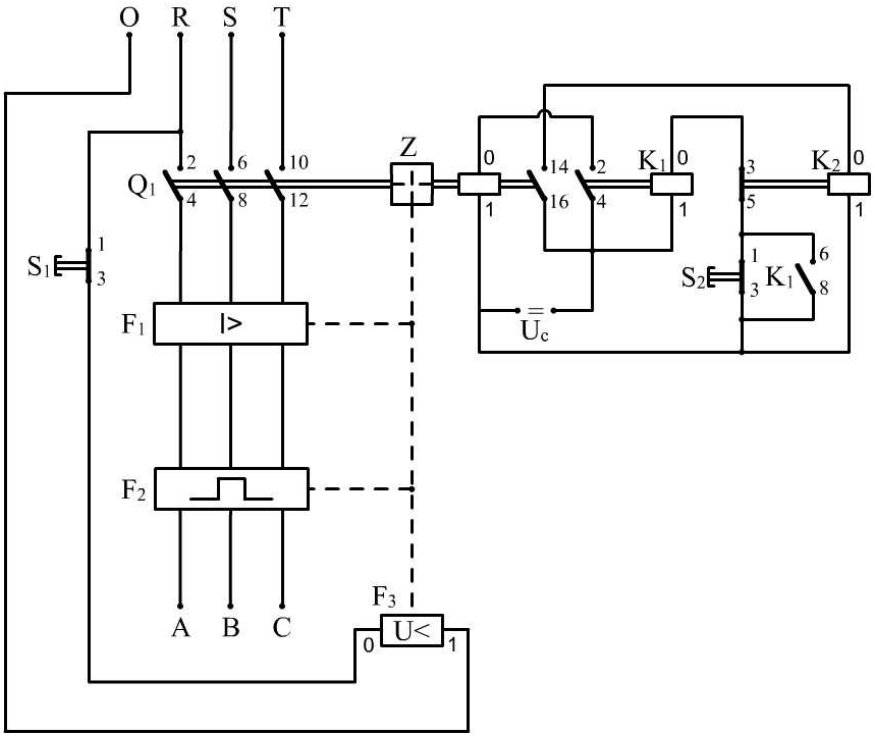


Figura 2.36. Schema electrică de acționare cu electromagnet de acționare a unui întrerupător compact de tip USOL.

La acționarea butonului de pornire (cu revenire) S_2 se alimentează bobina contactorului auxiliar K_1 în serie cu contactul normal închis K_2 (3-5) al releului de blocaj K_2. În acest fel contactorul îşi închide contactul principal K_1 (2-4) şi se automenține prin contactul auxiliar K_1 (6-8), permițând punerea sub tensiune a înfăşurării electromagnetului de acționare Q_1 (0-1) care comandă închiderea întrerupătorului, care rămâne zăvorât prin zăvorul mecanic Z. Contactele principale ale întrerupătorului permițând alimentarea consumatorului racordat la bornele A, B, C în serie cu declanşatorul electromagnetic F_1 şi cel termobimetalic F_2.

Prin închiderea contactului auxiliar al întrerupătorului Q_1 (14-16) se alimentează bobina releului de blocaj K_2 (0-1), care prin deschiderea contactului său normal închis K_2 (3-5) opreşte alimentarea bobinei contactorului K_1. Ca urmare a revenirii acestuia se deschide contactul K1 (2-4) care scoate de sub tensiune bobina electromagnetului de acționare.

Se observă că în cazul acționării din nou a butonului S_2 electromagnetul Q_1 (0-1) nu poate fi pus sub tensiune din cauză că releul de blocaj K_2 este acționat şi contactul său K_2 (3-5) este deschis.

Declanşarea voită se face prin butonul S_1 care întrerupe alimentarea declanşatorului minimal de tensiune F_3 (U<) şi care acționează mecanic asupra zăvorului Z. În cazul unor curenți de suprasarcină declanşarea este comandată de declanşatoarele F_1, iar ăn cazul unor supracurenți mai mari de declanşatoarele F_2 ce acționează asupra zăvorului Z.

În cazul în care întrerupătorul este acționat printr-un motor electric, schema electrică cuprinde un şi un limitator de cursă şi o frână electromagnetică.

Întrerupătorul automat de tip OROMAX se realizează pentru curenți nominali de la 1000 la 4000 A, fiind destinat comutației şi protecției liniilor electrice, a motoarelor de putere, generatoarelor şi transformatoarelor mari. Acționarea se face prin maneta proprie sau prin motor de acționare, printr-un mecanism de acționare cu acumulare de energie în resoarte (cu resoarte pretensionate). O vedere de ansamblu a unui întrerupător de tip OROMAX este prezentată în figura 2.37.

Acest întrerupător este prevăzut pentru protecție cu declanşatoare de tip H (declanşatoare combinate termice şi electromagnetice), cu curentul de declanşare instantanee reglat la $8I_r$.

Pentru a face față curenților de scurtcircuit mari, acest întrerupător este echipat cu contacte de lucru, contacte de rupere (de arc) şi rampe (coarne) de introducere a arcului electric în interiorul camerei de stingere.

Elementele constructive ale căilor de curent ale unui întrerupător tip OROMAX sunt prezentate în figura 2.38.

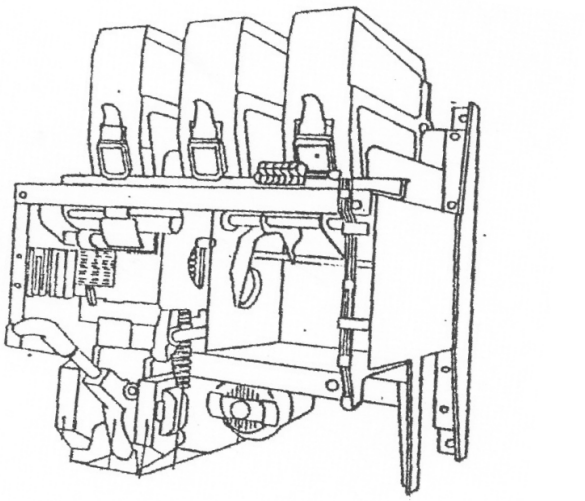


Figura 2.37. Întrerupător automat tip OROMAX

Un întrerupător de tip OROMAX poate efectua cca. 20000 de manevre de închidere - deschidere în sarcină şi nu necesită prea multe operaţiuni de întreţinere.

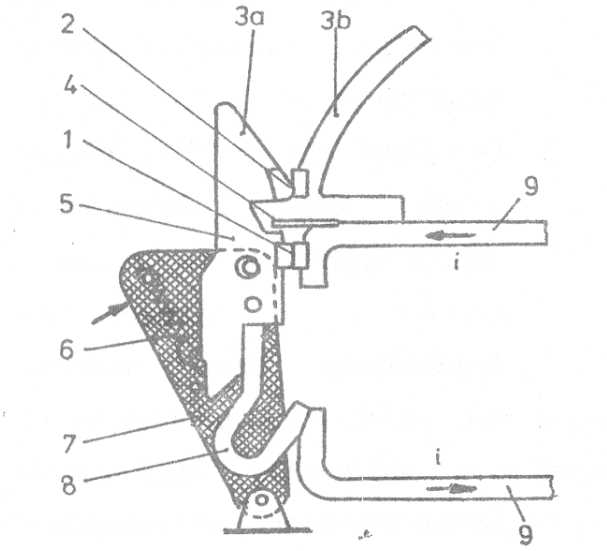


Figura 2.38. Căile de curent ale unui întrerupător de tip OROMAX.
l-contactul principal (de lucru); 2-contactul de rupere (de arc); 3a şi 3b-rampele (coarnele); 4- separator de flamă; 5- piesa suport pentru elementele mobile de contact; 6- resort antagonist; 7- piesă intermediară; 8- legătură flexibilă; 9- calea de curent.

Schema electrică a unui întrerupător automat universal de tip OROMAX este reprezentată în figura 2.39..

Acționarea întrerupătorului se poate face fie cu un electromagnet, cu un motor electric sau cu un dispozitiv pneumatic. În momentul în care dispozitivul de acționare şi-a terminat cursa, contactele întrerupătorului Q_l rămân închise prin intermediul zăvorului Z, iar dispozitivul de acționare este deconectat automat. Prin închiderea contactelor principale ale lui Q_l se alimentează consumatorul între bornele A, B, C, în serie cu declanşatoarele termice F_5 şi electromagnetice F_4 si siguranțele fuzibile F_1, F_2, F_3. La depăşirea curentului reglat acționează după caz declanşatorul termic sau cel electromagnetic care prin lovirea zăvorului provoacă declanşarea întrerupătorului.

În caz de scurtcircuit întreruperea alimentării consumatorului se realizează prin acțiunea siguranțelor fuzibile. Declanşatorul minimal de tensiune F_6 este alimentat prin contactul Q_l (14-16) şi butonul S_1 (l-3). În cazul scăderii sau dispariției tensiunii declanşatorul F_6 acționează mecanic asupra zăvorului Z, provocând declanşarea întrerupătorului. Pentru declan-şarea voită a întrerupătorului se foloseşte butonul S_1.

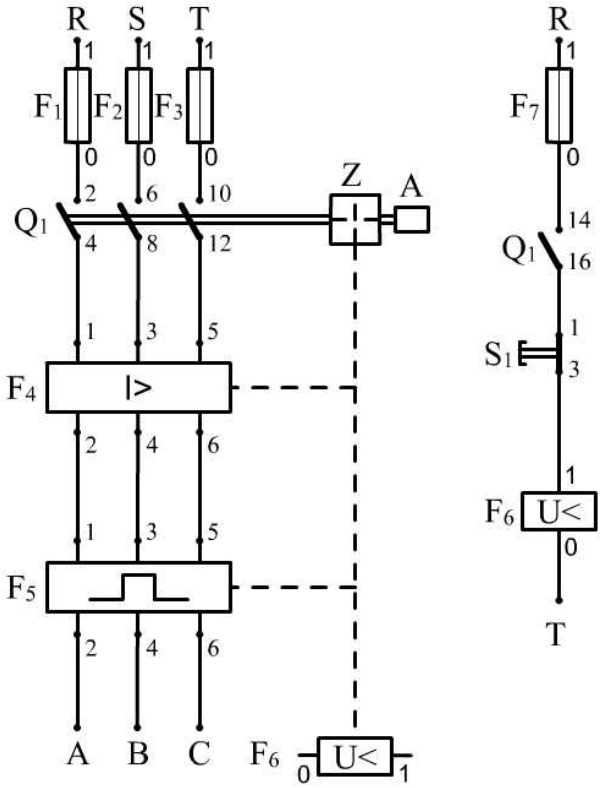


Figura 2.39. Schema electrică desfăşurată a unui întrerupător de tip OROMAX.

Protecția la suprasarcini este realizată de releele termobimetalice F_5, la supracurenți de releele electromagnetice F_4 iar la scăderea tensiunii de către releul electromagnetic F_6. Protecția la scurtcircuit se face şi în acest caz prin siguranțele fuzibile F_1, F_2 şi F_3.

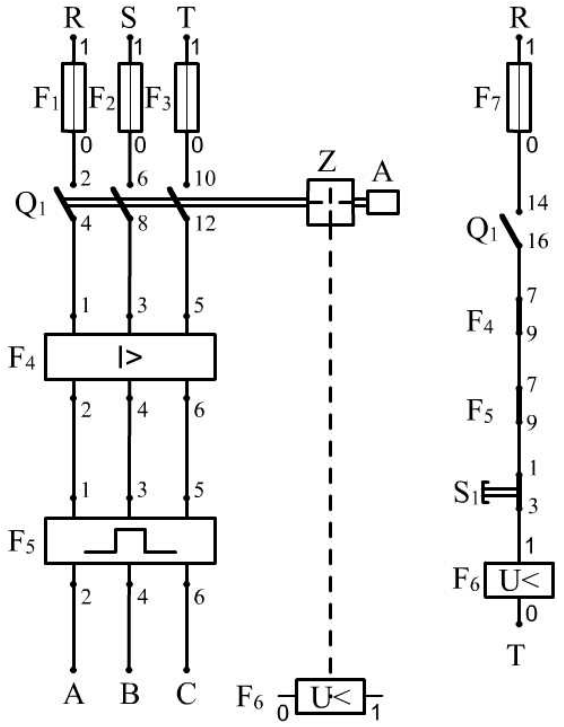


Figura 2.40. Schema electrică a unui întrerupător cu protecția prin relee.

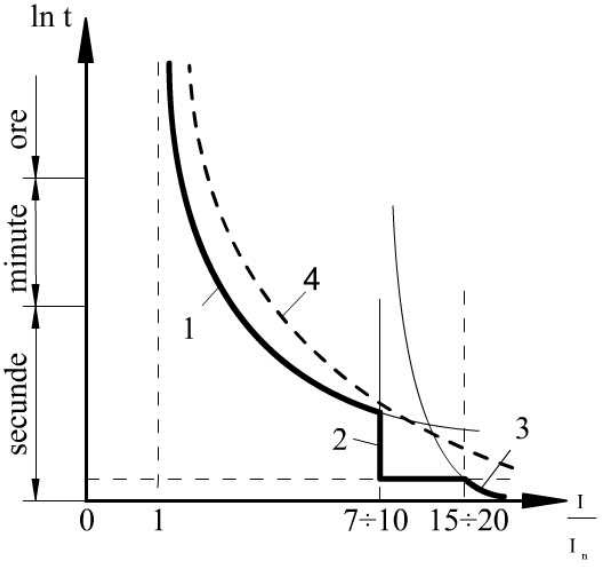


Figura 2.41. Caracteristica de protecție a unui întrerupător.

Caracteristica de protecţie a întrerupătorului este prezentată în figura 2.41. Caracteristica din figură este reprezentată în coordonate logaritmice. Porţiunea 1 din caracteristică reprezintă caracteristica dependentă corespunzătoare declanşatoarelor termobimetalice, porţiunea 2 reprezintă caracteristica independentă corespunzătoare declanşatoarelor electromagne-tice iar porţiunea 3 corespunde zonei de protecţie a siguranţelor fuzibile în cazul curenţilor de scurtcircuit. Caracteristica 4 reprezintă curba de stabilitate termică a instalaţiei protejate.

2.4.4. Întrerupătoare automate de c.c.

Întrerupătoarele automate de c.c. pot fi normale sau ultrarapide.

Întrerupătoarele automate normale nu necesită caracteristici de protecţie rapide şi sunt utilizate mai ales în tracţiunea electrică. Ele au un mecanism de zăvorâre cu pârghii genunchi cu clicheţi şi sunt prevăzute cu declanşatoare electromagnetice. La întrerupătoarele folosite în tracţiunea urbană (AV-2) bobina declanşatorului electromagnetic se poate regla la valori apropiate de curentul absorbit de motor (adică protecţia este selectivă).

Întrerupătoarele automate ultrarapide au apărut ca urmare a necesităţii de a proteja instalaţiile de curent continuu echipate cu redresoare cu vapori de mercur iar în prezent sunt folosite la protecţia dispozitivelor semiconductoare de putere, caracterizate printr-o capacitate redusă de a suporta curenţii de suprasarcină şi mai ales curenţii de scurtcircuit.

Întrerupătoarele ultrarapide se realizează în două variante:

a) Electromagnetice, la care sistemul de zăvorâre mecanică a fost înlocuit de zăvoare electromagnetice (prin utilizarea unui electromagnet de reţinere), declanşarea fiind comandată electromagnetic (printr-un electromagnet de declanşare).

b) Electrodinamice, la care asupra zăvorului mecanic (clichet) acţionează declanşatoare ultrarapide electrodinamice (ce utilizează efectul forţelor electrodinamice).

Întrerupătoarele ultrarapide electromagnetice se realizează sub mai multe variante constructive. Astfel în figura 2.42. este reprezentat un întrerupător ultrarapid electromagnetic produs de firma AEG, care permite obţinerea unor timpi de declanşare sub 10 ms.

Pentru acţionarea întrerupătorului se trece comutatorul C în poziţia din figură, alimentându-se bobina electromagnetului de reţinere ER. în acest fel armătura mobilă 5 este atrasă de armătura fixă 4, împotriva acţiunii resortului antagonist şi odată cu acesta se închide contactul mobil 2 peste cel fix 1.

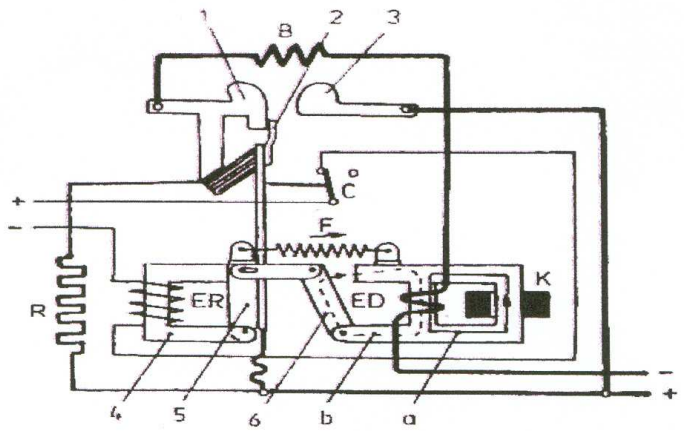


Figura 2.42. Întrerupător automat de c.c. ultrarapid electromagnetic. 1-contactul fix, 2-contactul mobil principal, 3-contactul de arc, B-bobina de suflaj, R-rezistența pentru limitarea supratensiunilor pe contacte, ER-electromagnetul de reținere (zăvorul), ED- electromagnetul de declanşare.

Curentul din circuitul de lucru străbate contactele de lucru, bobina de suflaj B şi bobina electromagnetului de declanşare ED. Fluxul magnetic dat de bobina ED se închide, conform liniei de câmp a, pe porțiunea de reluctanță magnetică minimă, străbătând polul ecranat cu spira în scurtcircuit K.

La apariția unui curent de scurtcircuit fluxul determinat de electromagnetul de declanşare ED se închide pe calea reprezentată punctat (curba b), din cauza reacției produse de spira în scurtcircuit (flux variabil în timp). În acest fel forța ce se exercită asupra armăturii mobile 6 adunată cu forța F a resortului, învinge forța dezvoltată de electromagnetul ER determinând deschiderea contactului mobil 2. Arcul electric ce apare între contacte este atras în interiorul unei camere de stingere cu fante înguste, sub acțiunea bobinei de suflaj B, unde este deionizat, alungit şi stins rapid.

O altă soluție constructivă de întrerupător ultrarapid cu şunt magnetic, este prezentată în figura 2.43.. Acest întrerupător utilizează pentru declanşare un impuls de curent proporțional cu panta de variație a curentului în timp (di/dt).

Pentru acționare se alimentează bobina electromagnetului de reținere 4 astfel încât fluxul magnetic dat de aceasta (linia continuă din figură) determină atragerea armăturii mobile feromagnetice 3. În acest fel se închid contactele întrerupătorului, calea de curent realizându-se de la A la B. Electromagnetul de reținere 5, legat în paralel cu o inductivitate L nu este parcurs de curent în regim normal de funcționare.

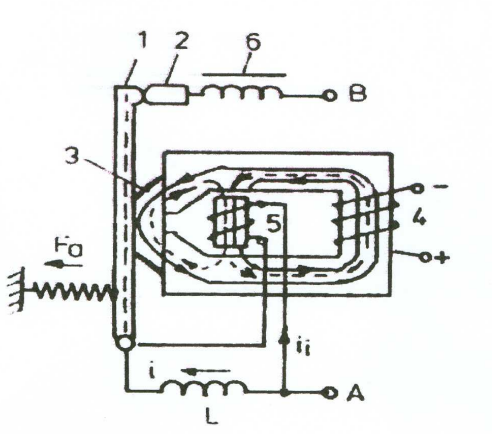


Figura 2.43. Întrerupător automat de c.c. ultrarapid cu şunt magnetic.
1 - contactul mobil; 2- contactul fix; 3-armătura mobilă solidară cu contactul mobil; 4- electromagnetul de declanşare; 6- bobina de suflaj.

La apariţia unui curent de scurtcircuit, pe inductivitatea L apare o tensiune electromagnetică indusă U_e care determină apariţia prin înfăşurarea de comandă a electromagnetului de declanşare 5 a unui curent de impuls:

$$i = k \cdot L \frac{di}{dt} \qquad (2.15.)$$

Prin armătura mobilă se închide un flux magnetic a cărui linii de câmp (linia punctată) se opun celor determinate de electromagnetul de reţinere 4 şi sub acţiunea resortului antagonist armătura mobilă se îndepărtează şi odată cu ea şi contactul mobil 2 care întrerupe circuitul.

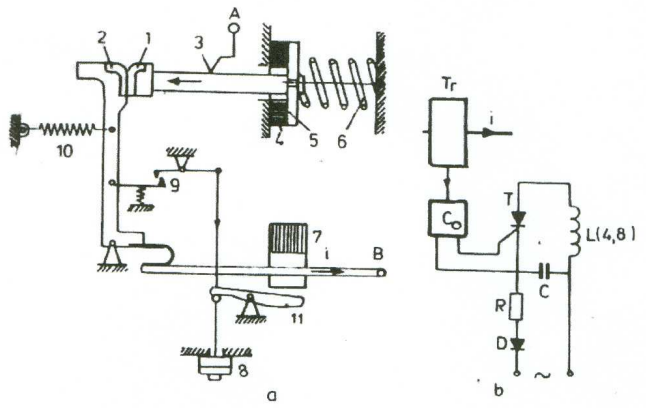


Figura 2.44. Întrerupător automat de c.c. ultrarapid electrodinamic.
1, 2 - contactele principale; 3- tija mobilă; 4- bobina declanşatorului; 5-disc nemagnetic; 6- resort; 7 –declanşator electromagnetic; 8-declanşator electrodinamic; 9- clichet; 10- resort antagonist.

Stingerea arcului este asigurată de bobina de suflaj 6. Lipsa unor pârghii şi zăvoare intermediare determină o acţiune ultrarapidă a întrerupătorului în caz de avarie (de ordinul 5 ms).

În poziţia închis întrerupătorul este zăvorât prin clichetul 9, calea de curent închizându-se de la A la B. Esenţial în construcţia aparatului este declanşatorul electrodinamic format din bobina fixă 4 şi un disc nemagnetic (Cu sau Al) 5, care este solidar cu elementul de contact 1 prin tija 3. Resortul 6 asigură presiunea de contact. La apariţia unui curent de scurtcircuit se transmite un impuls de curent (l-2 ms) în bobina 4 şi sub acţiunea forţelor electrodinamice discul 5 este respins comprimând resortul 6 şi ducând la deschiderea contactelor 1 şi 2. În acest fel apare un arc electric, dirijat spre camera de stingere (cu efect deion şi suflaj magnetic), limitându-se în acelaşi timp valoarea curentului de scurtcircuit. Resortul 6 se comprimă până la o valoare prestabilită după care revine spre poziţia iniţială cu tendinţa de a restabili contactul principal. Pentru a evita acest lucru clichetul mecanic 9 trebuie deschis într-un timp foarte scurt, permiţând resortului antagonist 10 să îndepărteze contactul 2.

Această declichetare rapidă este realizată fie prin intermediul unui declanşator electromagnetic 7 care îşi atrage armătura mobilă 11, fie printr-un declanşator electrodinamic 8 (identic cu 4 şi 5). Pentru a obţine o declanşare extrem de rapidă (aproximativ 3 ms) impulsul de comandă transmis înfăşurărilor 4 respectiv 8, se obţine de la un sistem de sesizare a supracurenţilor prezentat în figura 2.44. b.

La variaţia bruscă a curentului de supravegheat i, prin intermediul transformatorului de curent Tr se transmite un semnal unui comparator C_o. Dacă curentul a depăşit valoarea reglată, la ieşirea din comparator se dă o comandă pe poarta tiristorului T prin care se descarcă condensatorul C peste bobinele declanşatoarelor 4, respectiv 8. Din schemă se observă că în prealabil condensatorul a fost încărcat de la o sursă de tensiune alternativă prin dioda D şi rezistenţa R.

Datorită timpilor de comutaţie foarte reduşi întrerupătoarele de c.c. ultrarapide au cunoscut o lărgire a domeniului de utilizare şi o diversificare a variantelor constructive.

2.5. DISJUNCTOARE

Acest tip de echipamente de comutaţie au gabarit mai redus decât întrerupătoarele automate de tip compact datorită micşorării distanţelor de străpungere şi de conturare, izolarea completă a fazelor între ele, precum şi limitarea spaţiului de stingere a arcului electric.

Rolul disjunctoarelor este de a proteja consumatorii şi circuitele electrice împotriva următoarelor defecţiuni: suprasarcini, scurtcircuite şi dispariţia tensiunii din circuit prin intermediul declanlşatoarelor termobimetalice şi electromagnetice.

Se asigură totodată, posibilitatea întreruperii sau stabilirii continuităţii în alimentare a consumatorilor. La disjunctoare funcţia de comutaţie este asigurată de contactele principale şi de dispozitivele de stingere cu care sunt echipate, iar funcţia de protecţie este asigurată de declanşatoare.

Defecţiunile din instalaţiile electrice şi defectele lor, care trebuie diminuate prin funcţionarea disjunctoarelor se referă la:

a.) Scurtcircuite;

b.) Suprasarcinile, $I_0=(1,05\div1,5)I_n$, adică depăşirea cu 5÷50 % a curentu-lui nominal, cu consecinţe nefaste prin efectul termic ce-l produc în timp asupra utilajelor alimentate electric;

c.) Dispariţia tensiunii (întreruperea alimentării) produce neajunsuri prin încălcarea nesimetrică a consumatorilor, respectiv prin nefuncţionarea utilajelor ;

d.) Apariţia unor curenţi de defect, de punere la pământ, produşi de stingerea accidentală a părţilor aflate sub tensiune de către operatorii umani, fapt ce ar putea produce electrocutarea acestora.

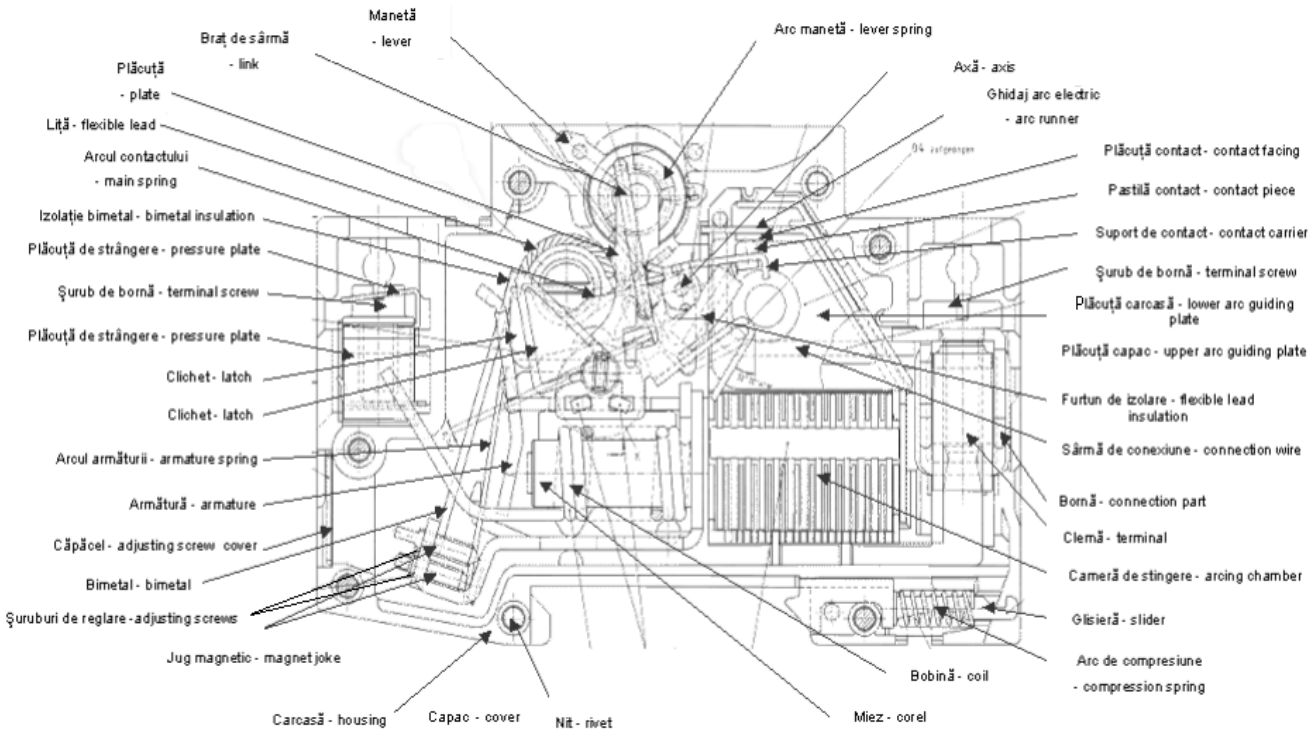

Manetă
- lever
Braţ de sârmă
- link
Plăcuţă
- plate
Liţă - flexible lead
Arcul contactului
- main spring
Izolaţie bimetal - bimetal insulation
Plăcuţă de strângere - pressure plate
Şurub de bornă - terminal screw
Plăcuţă de strângere - pressure plate
Clichet - latch
Clichet - latch
Arcul armăturii - armature spring
Armătură - armature
Căpăcel - adjusting screw cover
Bimetal - bimetal
Şuruburi de reglare - adjusting screws
Jug magnetic - magnet joke
Carcasă - housing
Capac - cover
Nit - rivet
Arc manetă - lever spring
Axă - axis
Ghidaj arc electric
- arc runner
Plăcuţă contact - contact facing
Pastilă contact - contact piece
Suport de contact - contact carrier
Şurub de bornă - terminal screw
Plăcuţă carcasă - lower arc guiding plate
Plăcuţă capac - upper arc guiding plate
Furtun de izolare - flexible lead insulation
Sârmă de conexiune - connection wire
Bornă - connection part
Clemă - terminal
Cameră de stingere - arcing chamber
Glisieră - slider
Arc de compresiune
- compression spring
Bobină - coil
Miez - corel

Figura 2.45. Elementele constructive ale unui disjunctor

Figura 2.46. Blocuri disjunctoare

Mărimile caracteristice ale disjunctoarelor sunt: curentul nominal, curentul de reglaj al declanşatoarelor, tensiunea nominală de funcţionare, tipul dispozitivului de acţionare (manual), electromagnetic şi tensiunea de comandă a acestuia, capacitatea de rupere.

După **funcţiile de protecţie**, care determină declanşările automate, disjunctoarele se împart în:

– disjunctoare de curent maxim,
– disjunctoare de curent minim,
– disjunctoare de curent invers,
– disjunctoare de tensiune minimă,
– disjunctoare de tensiune maximă.

Există disjunctoare care cumulează mai multe funcţii de protecţie: de exemplu, pentru curent maxim, curent invers şi tensiune minimă.

Părţile componente ale disjunctoarelor sunt prezentate în figura 2.45.

Ruperea curenţilor de scurtcircut este asigurată atât prin dispozitive adecvate de stingere a arcului electric (camere de stingere performante) cât şi prin deschiderea rapidă a contactelor mobile cu ajutorul unor arcuri putemice.

Evident că folosirea carcasei de material plastic reduce simţitor spaţiul de montaj şi de stingere a arcului electric, dar în acelaşi timp limitează şi capacitatea de rupere a aparatului la valori mai mici decât în cazul întrerupă-toarelor automate universale.

Pentru a verifica modul de însuşire a cunoştinţelor prezentate în acest capitol răspundeţi pe scurt la următoarele întrebări:

1. Ce este un aparat de comutaţie?
2. Când un aparat de comutaţie este automat?
3. Ce aparate electrice de comutaţie de joasă tensiune cunoaşteţi?
4. Definiţi un contactor electromagnetic?
5. Ce este un conjunctor?
6. Ce este un disjunctor?
7. Cum se clasifică contactoarele electromagnetice după cinematica lor?
8. În câte grupe se clasifică contactoarele electromagnetice de curent alternativ după tipul sarcinii?
9. În câte grupe se clasifică contactoarele electromagnetice de curent continuu după tipul sarcinii?
10. În câte clase se împart contactoarele electromagnetice în funcţie de rezistenţa mecanică?
11. Care sunt elementele constructive ale unui contactor electromagnetic?
12. Ce tip de cameră de stingere se foloseşte la contactoarele electromagnetice de curent alternativ?
13. Ce tip de cameră de stingere se foloseşte la contactoarele electromagnetice de curent continuu?
14. Care este dispozitivul de acţionare a unui contactor electromagnetic?
15. Care este condiţia de comutaţie sigură a unui contactor electromagnetic de curent alternativ?
16. De cine depinde numărul de plăci feromagnetice ale camerei de stingere a unui contactor electromagnetic?
17. La ce tip de contactoare se utilizează rezistenţa economizatoare?
18. Ce rol are rezistenţa economizatoare înseriată cu bobina contactorului electromagnetic de curent continuu?
19. Ce tip de contact al contactorului comandă rezistenţa economizatoare?
20. Cum se clasifică contactoarele electromagnetice de curent continuu după cinematica lor?
21. Cum se clasifică contactoarele de curent continuu după tipul camerei de stingere.
22. La ce tip de acţionări se folosesc contactoarele electromagnetice?
23. Ce este un contactor mixt?
24. Ce rol are contactul de automenţinere?
25. Ce tipuri de scheme electrice cunoaşteţi?
26. La ce tipuri de acţionări se recomandă contactoarele electromagnetice acţionate cu electromagnet de curent continuu?
27. Ce este un contactor static?

28. Ce dispozitive semiconductoare se utilizează pentru contactoare statice?
29. Care este momentul cel mai defavorabil pentru comutația unui circuit de curent alternativ?
30. Ce variante de contactoare statice de curent alternativ cunoaşteți?
31. Ce dispozitiv semiconductor este echivalent cu două tiristoare montate în antiparalel?
32. Ce asigură protecția împotriva supratensiunilor la contactoarele statice?
33. Cum se blochează un tiristor?
34. Cum este comandată intrarea în conducție a unui tiristor?
35. Ce asigură stingerea tiristorului principal într-un contactor static de curent continuu ?
36. Cum putem reduce supratensiunile ce apar la comutația unui contactor static de curent continuu?
37. Ce variante constructive de contactoare statice de curent continuu cunoaşteți?
38. Ce tip de contactor static de curent continuu poate fi folosit la frecvențe mari de conectare?
39. Ce este un contactor hibrid?
40. Ce avantaje au contactoarele statice față de contactoarele electromagnetice?
41. Ce dezavantaje au contactoarele statice față de contactoarele electromagnetice?
42. Ce avantaje prezintă contactoarele hibride?
43. Ce dezavantaje prezintă contactoarele hibride?
44. Cum se reprezintă un releu intermediar într-o schemă electrică?
45. Ce variante constructive de relee miniaturizate cunoaşteți?
46. Care este cel mai performant releu miniaturizat?
47. Care este elementul motor al unui releu Reed?
48. Cum este protejat anticoroziv un releu Reed?
49. Definiți un întrerupător automat?
50. Care este elementul constructiv caracteristic al unui întrerupător?
51. Unde se folosesc întrerupătoare automate de curent alternativ de joasă tensiune?
52. Cum se clasifică întrerupătoarele automate de joasă tensiune după funcția de protecție?
53. Cum se clasifică întrerupătoarele automate de joasă tensiune după tipul de declanşatoare?
54. Care sunt elementele constructive ale unui întrerupător automat de joasă tensiune?
55. Ce este un declanşator?
56. Cu ce tipuri de declanşatoare sunt dotate întrerupătoarele automate?

57. Ce declanşator asigură protecția la suprasarcină?
58. Ce declanşator asigură protecția la supracurenți şi scurtcircuit?
59. Ce declanşator asigură protecția la scăderea tensiunii sau tensiune nulă?
60. Ce tipuri de zăvoare cunoaşteți?
61. Ce rol are mecanismul de zăvorâre al unui întrerupător automat?
62. Cum se clasifică după varianta constructivă întrerupătoarele automate de curent alternativ de joasă tensiune?
63. Ce întrerupătoare automate de curent alternativ şi joasă tensiune produse în țară cunoaşteți?
64. Ce tip de cameră de stingere se folosesc la întrerupătoarele automate de curent alternativ de joasă tensiune?
65. Cum este asigurat efectul de limitare a întrerupătoarelor?
66. Ce variante de întrerupătoare USOL cunoaşteți?
67. Ce variante de întrerupătoare OROMAX cunoaşteți?
68. Care este mărimea de ieşire a unui declanşator?
69. Unde se folosesc întrerupătoarele automate de curent continuu de joasă tensiune?
70. Cum se clasifică întrerupătoarele automate de curent continuu de joasă tensiune după tipul de declanşator?
71. Cum se clasifică întrerupătoarele automate de curent continuu ultrarapide după sistemul de zăvorâre?
72. Ce tip de cameră de stingere se foloseşte la întrerupătoarele automate de curent continuu de joasă tensiune?
73. Ce este un întrerupător în construcție universală?
74. Ce este un întrerupător în construcție capsulată?
75. Cum se face acționarea de la distanță a unui întrerupător automat de joasă tensiune?
76. Care este frecvența de comutație a unui întrerupător automat comparativ cu cea a unui contactor electromagnetic?
77. Care este timpul de declanşare a unui întrerupător automat comparativ cu cel al unui contactor electromagnetic?
78. Ce tipuri de electromagneți se folosesc la acționarea întrerupătoarelor automate de joasă tensiune?
79. Ce rol are bobina de suflaj a unui întrerupător automat de c.c.?
80. Care sunt avantajele şi dezavantajele folosirii disjunctoarelor?

3. ECHIPAMENTE ELECTRICE DE PROTECȚIE

Defectele ce apar în instalațiile electrice sunt foarte complexe, atât ca desfăşurare cât şi din punct de vedere al efectelor pe care le pot produce în instalațiile electrice. Deşi este posibilă o împărțire a defectelor după cauza şi natura lor, în practică este greu de distins cărei categorii îi aparține defectul care a avut loc, dat fiind că cel mai adesea apar defecte combinate şi nu se poate şti care a fost cauza şi care efectul. Marea majoritate a defectelor constau în deteriorarea izolației ceea ce conduce la apariția unor scurtcircuite. Curentul de scurtcircuit având o valoare mare supune echipamentul electric şi consumatorii la efecte termice şi electrodinamice importante şi în acelaşi timp provoacă o creştere a căderilor de tensiune pe toate impedanțele pe care le parcurge, provocând astfel o scădere generală a tensiunii în rețea.

Echipamentele electrice de protecție au rolul de a limita efectele regimurilor de avarie pentru a proteja atât echipamentul electric cât şi consumatorii şi generatoarele electrice.

Cele mai importante echipamente de protecție sunt: siguranțele fuzibile, releele de protecție, declanşatoarele şi descărcătoarele. Aparatele de protecție trebuie să sesizeze apariția unui regim anormal de funcționare şi să izoleze zona defectă prin intermediul aparatelor de comutație.

Pentru a fi eficientă o protecție trebuie să fie sensibilă, rapidă, selectivă şi cât mai sigură în funcționare.

3.1. SIGURANȚE FUZIBILE

Siguranța fuzibilă este un aparat de conexiune şi protecție a cărui funcție este de a întrerupe circuitul în care este conectată şi de a întrerupe curentul, atunci când acesta depăşeşte un anumit timp o valoare dată, prin topirea unuia sau mai multor elemente fuzibile (destinate şi proiectate în acest scop).

Siguranța fuzibilă este unul dintre cele mai vechi aparate de protecție, care au apărut încă din primele momente ale dezvoltării electrotehnicii. Acțiunea unei siguranțe se bazează pe topirea fuzibilului ei în caz de suprasarcini şi de scurtcircuite. Fuzibilul siguranței constituie punctul slab al circuitului. El trebuie să se topească înaintea conductoarelor, a înfăşurărilor maşinilor sau a transformatoarelor, adică înainte ca curentul prin circuit să

poată atinge o valoare periculoasă pentru izolații.

Siguranțele fuzibile se caracterizează printr-o construcție foarte simplă şi robustă, care au încorporat ca element de protecție un fir rotund sau o bandă conductoare, montate în serie cu obiectul de protejat. În cazul curenților de scurtcircuit şi la suprasarcini mari, metalul din care este confecționat fuzibilul, având cea mai redusă stabilitate termică din întreg circuitul, se topeşte şi întrerupe circuitul, realizând protecția acestuia.

Siguranțele fuzibile se folosesc atât în instalațiile electrice de joasă tensiune, cât şi în cele de medie şi înaltă tensiune şi deşi din punct de vedere constructiv ele diferă mult în funcție de domeniul de utilizare, funcția de protecție este aceeaşi.

3.1.1. Principiul de funcționare al siguranțelor fuzibile

Siguranța fuzibilă are două **regimuri de funcționare**: când curentul care o străbate este mai mic decât curentul minim de topire ($I<I_{min\ top}$) şi regimul tranzitoriu condiționat de curenții de scurtcircuit sau de suprasarcină, curenți ce depăşesc curentul minim de topire ($I > I_{min\ topire}$).

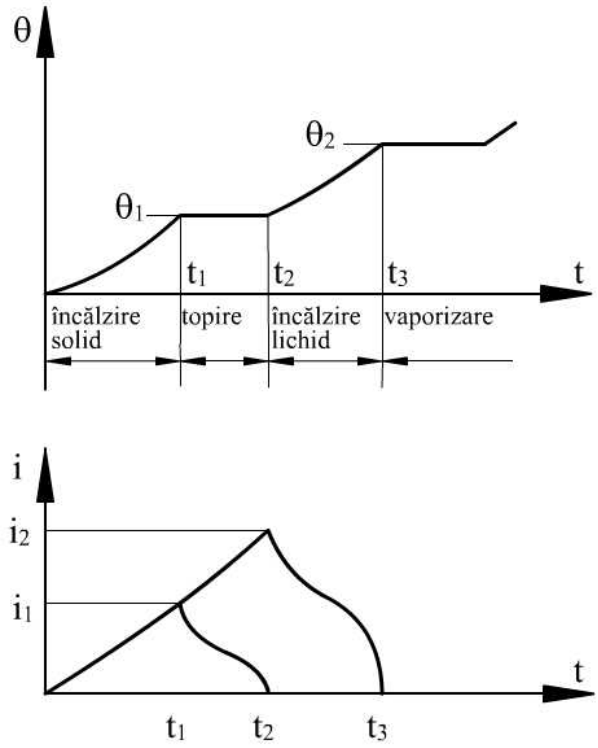


Figura 3.1. Principiul de funcționare al siguranței fuzibile

Elementul fuzibil este înglobat într-o masă de nisip de cuarț şi se

topeşte la depăşirea $I_{min\ top}$, apărând arcul electric, a cărui stingere este determinată de preluarea căldurii de către granulele de nisip.

Din momentul în care firul ajunge în stare lichidă, masa de lichid nu mai păstrează forma geometrică a firului, fiind supusă deformării cauzate de forţele electrodinamice în bucla parcursă de curent 1şi de forţele Lorentz în masa de lichid.

Fuzibilul se topeşte apoi se evaporă, din stare solidă trece în stare lichidă apoi în stare de vapori. Procesul de schimbare a acestor stări diferă esenţial după cum se efectuează încet sau repede, adică dacă fuzibilul siguranţei se topeşte la intensitate mică a curentului de suprasarcină sau la intensitate mare a unui curent de scurtcircuit.

Se constată că pe durata $0…t_1$ are loc încălzirea elementului fuzibil, conform curbei din figură, până la temperatura θ_1 corespunzătoare temperaturii de topire ($\theta_1=\theta_{top}$). Durata $t_1$este de 1…5 ns şi ca urmare se poate considera că într-un interval atât de scurt nu există schimb de căldură cu mediul ambiant, procesul fiind adiabatic.

În intervalul t_1-t_2 materialul fuzibilului se topeşte în întregime, iar temperatura se păstrează constantă în timpul procesului de topire la valoarea $\theta_1=\theta_{top}$. În acest interval există atât metal solid, cât şi lichid, care ocupă ipotetic forma geometrică a elementului în stare solidă.

În intervalul de timp t_2 - t_3 metalul lichid se încălzeşte la temperatura $\theta_1$la temperatura θ_2 când se ajunge la temperatura de vaporizare ($\theta_2=\theta_{vap}$), după care ar urma formarea arcului electric.

Intervalul de timp scurs între momentul apariţiei curentului de scurtcircuit şi momentul apariţiei arcului electric se numeşte durata de prearc.

Caracteristic pentru funcţionarea la scurtcircuit a siguranţelor fuzibile este procesul de limitare a curentului electric ca durată şi amplitudine. După topirea completă a elementului fuzibil şi deci după apariţia arcului electric, curentul mai creşte puţin, deoarece rezistenţa arcului este încă mică.

Efectul limitativ al siguranţelor fuzibile este cu atât mai pronunţat cu cât valoarea nominală a siguranţei este mai mică şi curentul de scurtcircuit mai mare (supratensiunile ce apar în circuit sunt mai mari).

În cazul unui curent mic, distrugerea fuzibilului începe în anumite porţiuni, nu prea mari. Astfel în aceste porţiuni, datorită topirii şi evaporării metalului, ia naştere un arc sau mai multe arcuri mici. Aceste arcuri distrug fuzibilul pe lungimea totală, necesară stingeri arcului. Dar metalul fuzibilului rămâne în zona unde se găsea iniţial fuzibilul. Dacă acesta este înconjurat de nisip, metalul topit umple spaţiul dintre firele de nisip şi formează un canal semiconductor. Stingerea arcului după topirea fuzibilului, în cazul curenţilor reduşi, este îngreunată datorită acestui fapt. În cazul unui curent mare

fuzibilul se topeşte, practic, simultan pe toată lungimea. Efectul topirii şi evaporării metalului are un caracter de explozie, în care metalul fuzibilului este aruncat cu putere în lături şi se condensează pe firele de nisip.

La trecere din stare lichidă în stare de vapori, conductanța devine practic nulă şi curentul se întrerupe brusc, aceasta ducând la supratensiuni apreciabile, care de obicei cresc până la o valoare la care apare străpungerea mediului siguranței plin cu metal sub formă de vapori. După străpungerea mediului, se stabileşte un arc, a cărui durată de ardere şi caracter al stingerii depind de construcția dispozitivului de stingere al arcului cu care este prevăzut siguranța.

Valoarea **supratensiunii** care ia naştere în siguranță după evaporarea fuzibilului, depinde de lungimea acestuia. Cu cât lungimea este mai mare cu atât supratensiunea care ia naştere este mai înaltă.

Pentru reducerea supratensiunii care ia naştere în siguranță la scurtcircuit, se încearcă reducerea lungimi fuzibilului. De exemplu, în siguranțele tubulare după topirea fuzibilului şi formarea arcului, unul dintre electrozi este tras din canalul de stingere, astfel supratensiunile sunt practic imposibile.

La siguranțele umplute cu nisip unde nu se poate mării distanța dintre electrozi, se folosesc fuzibile în trepte. Fuzibilul este construit din sârme de diferite secțiuni. În cazul unui astfel de fuzibil topirea şi evaporarea se produc întâi în porțiunea de secțiunea minimă. După ce este străpunsă această secțiune urmează cea cu secțiune mai mare, arcul se stabileşte pe toată lungimea. Este clar că în cazul străpungerilor în trepte, supratensiunile trebuie să aibă valori mai mici decât siguranța care nu are fuzibilul în trepte, deoarece lungimile diferitelor secțiuni se micşorează.

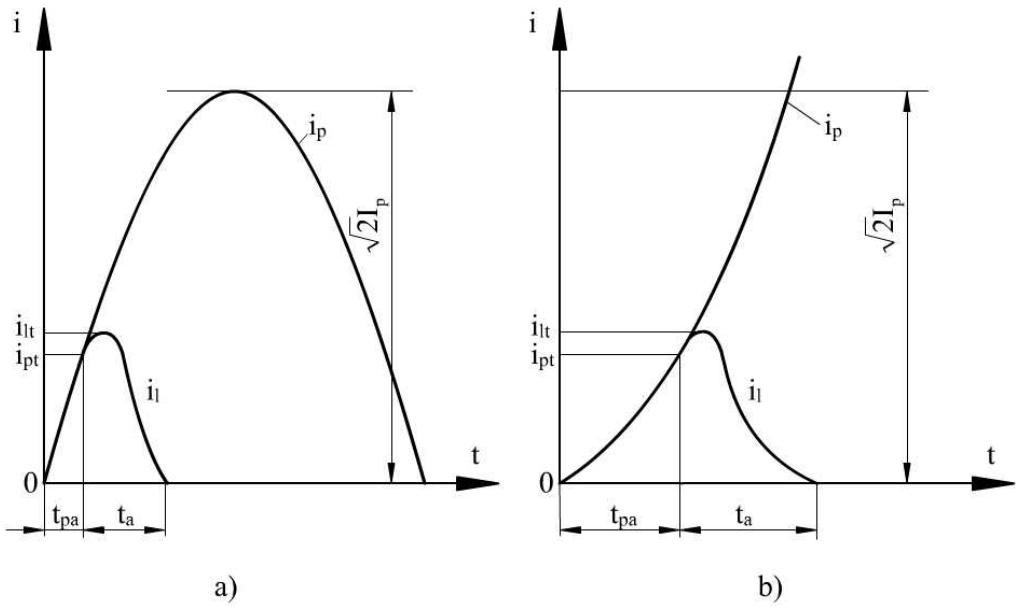


Figura 3.2. Efectul de limitare a curentului prin siguranța fuzibilă.
a) Regim sinusoidal, b) Regim aperiodic.

Arcul care ia naştere într-o siguranță după topirea şi evaporarea fuzibilului, trebuie stins într-un timp cât mai scurt. În funcție de condițiile de funcționare a siguranței, de puterea scurtcircuitului şi de valoarea tensiunii de serviciu, se folosesc diferite metode de stingere a arcului, începând de la întreruperea simplă în aer şi terminând cu dispozitive complicate.

Siguranțele fuzibile limitatoare de curent sunt siguranțele care după topirea fuzibilului reduc repede curentul la zero, înainte să atingă valoarea maximă. Toate construcțiile de siguranțe se pot împărți în:

1) cu limitare de curent;
2) fără limitare de curent.

În figura 3.2. s-au reprezentat mărimile standardizate şi notate conform recomandărilor CEI:

– i_p curentul prezumat, definit ca acel curent care ar trece prin circuit dacă siguranța fuzibilă ar fi înlocuită cu un conductor de impedanță nulă;

– i_{pt} curentul prezumat tăiat, definit ca valoarea instantanee a ip în momentul apariției arcului electric;

– i_l curentul limitat este curentul care trece prin siguranța fuzibilă după amorsarea arcului electric;

– i_{lt} curentul limitat tăiat este valoarea instantanee maximă a curentului limitat;

– t_{pa} este durata de prearc;

– t_a este durata de ardere a arcului electric.

Rezultă că durata de ardere a arcului electric este $t_{pa} + t_a$.

Din figura 3.2. se constată că în regim aperiodic efectul de limitare este mai pronunțat dar durata de ardere a arcului electric este mai mare.

Siguranțele fuzibile limitatoare de curent sunt siguranțele care după topirea fuzibilului reduc repede curentul la zero, înainte să atingă valoarea maximă.

La curentul i, fuzibilul se evaporă şi au loc străpungerea intervalului şi amorsarea arcului. În siguranțele limitatoare de curent, curentul din circuit nu atinge valoarea maximă I_m ci, dimpotrivă, începând de la valoarea I, scade tinzând către zero. Astfel de proprietăți remarcabile au de exemplu siguranțele umplute cu o substanță cu granulație mică. În cazul acesta, arcul se găseşte în astfel de condiții, încât rezistența sa capătă, dintr-o dată o valoare mare care apoi creşte repede. Proprietate siguranțelor, umplute cu substanțe granuloase de a reduce forțat curentul la zero înainte de trecerea sa normală prin zero, indică posibilitatea utilizării acestui fel de siguranțe şi în curent continuu, lucru confirmat în practică.

Siguranțele fuzibile fără limitare de curent aproape că nu reduc curentul după evaporarea fuzibilului.

În acest caz, curentul din arc după evaporarea fuzibilului trece prin maxim şi, în cazul cel mai bun se întrerupe la prima trecere prin zero, însă poate să se întrerupă şi după trecerea câtorva semiperioade. Majoritatea siguranțelor fuzibile nu sunt siguranțe limitatoare de curent.

În siguranțele fuzibile se foloseşte pe scară largă stingerea arcului cu ajutorul descompunerii unei substanțe solide de stingere. Astfel de siguranțe sunt de exemplu, sunt siguranțele tubulare la care stingerea are loc într-un curent de gaz longitudinal, ce ia naştere în tubul executat din material generator de gaz. Astfel de siguranțe de înaltă tensiune de curent alternativ sunt utilizate în special în instalații exterioare.

O răspândire şi mai mare a căpătat metoda de stingere a arcului electric în siguranțele fuzibile cu ajutorul unei substanțe de umplutură cu granulație mică.

Acest principiu de stingere a arcului este folosit pe scară largă, atât la siguranțele de înaltă tensiune pentru instalații interioare (până la 35 kV) cât şi la siguranțele de joasă tensiune. Siguranțele cu umplutură granuloasă au efect limitator de curent şi pot fi utilizate pentru întreruperea curenților mari de scurtcircuit.

3.1.2. Mărimile caracteristice ale siguranțelor fuzibile

Proprietățile şi performanțele siguranțelor fuzibile sunt definite prin mai multe mărimi caracteristice general acceptate, cum ar fi: curentul nominal al

soclului; curentul nominal al elementului fuzibil; tensiunea nominală; felul curentului; frecvența tensiunii; puterea nominală de rupere; caracteristica temporală de curent; curentul limită de topire; factorul de topire; caracteristica de limitare; tipul constructiv; consumul propriu, etc.

Aptitudinea unei siguranțe fuzibile de a întrerupe un anumit curent de scurtcircuit se poate exprima prin:

– curentul de rupere (capacitatea de rupere) I_r al siguranței, indicat prin valoarea maximă a curentului de scurtcircuit, pe care îl poate întrerupe siguranța, în condiții de încercare precizate de norme, aceasta rămânând fără deteriorări;

– puterea de rupere P_r a siguranței la scurtcircuit ce se poate determina pentru circuite de curent alternativ din relația:

$$P_r = \sqrt{3}\, U_n \cdot I_r \qquad (3.1.)$$

Prin curent de rupere se înțelege curentul de scurtcircuit de şoc simetric ce s-ar stabili în circuitul dat (deci fără componenta continuă), în cazul în care siguranța ar fi scoasă din circuit prin şuntare.

Caracteristica timp-curent (de protecție) t = F(i), reprezentată prin variația timpului de ardere a siguranțelor fuzibile în funcție de supracurent, se poate exprima în două variante de caracteristici temporale:

–**caracteristica de topire** a elementului fuzibil, care exprimă dependența dintre tipul de la începutul scurtcircuitului până în momentul topirii fuzibilului (apariția arcului), şi valoarea prezumată a curentului de scurtcircuit, presupus constant;

–**caracteristica de întrerupere** a elementului fuzibil care exprimă dependența dintre durata totală până la întrerupere (timpul de la începutul scurtcircuitului până la începutul topirii fuzibilului, plus durata de ardere a arcului) şi acelaşi curent de scurtcircuit prezumat. Durata de ardere a arcului ($5 \cdot 10^{-3}$s) se neglijează, iar pentru durate de topire mai mari de $2 \cdot 10^{-2}$, cele două caracteristici se pot considera identice în zona de scurtcircuit. Din această cauză în prospecte se indică numai caracteristica de topire.

Prin exprimarea curentului de scurtcircuit prezumat, ca multiplu al curentului nominal (figura 3.3.) s-a reuşit reprezentarea printr-o singură curbă a tuturor caracteristicilor de protecție a siguranțelor de aceeaşi construcție dar de curenți nominali diferiți.

Protecția instalațiilor electrice prin siguranțe fuzibile se face confruntând caracteristica termică a obiectului protejat cu caracteristica de protecție a siguranței fuzibile.

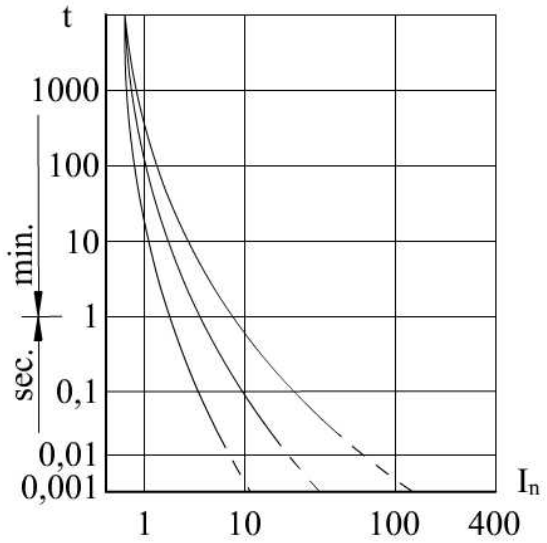


Figura 3.3. Caracteristica temporală de protecţie a siguranţelor fuzibile

Caracteristica termică a unui obiect din instalaţia electrică este o curbă care reprezintă dependenţa dintre timpul în cursul căruia temperatura părţii celei mai încălzite a obiectului atinge valoarea limită admisibilă şi valoarea supracurentului.

Faţă de întrerupătoarele obişnuite siguranţele fuzibile cu mare putere de rupere, având un timp de comutaţie foarte mic, au marele avantaj, că pot limita considerabil valoarea unui curent de scurtcircuit, realizând ruperea acestuia înainte ca el să fi ajuns la valoarea maximă.

Această aptitudine se ilustrează prin **caracteristica de limitare**, care reprezintă valoarea de vârf atinsă de curentul de scurtcircuit, limitat prin prezenţa siguranţei, în funcţie de valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit prezumat.

În regim stabil de încălzire întreaga energie consumată de fuzibil este complet cedată mediului înconjurător. Curentul maxim, care corespunde acestui regim de încălzire a fuzibilului, se numeşte curent minim de topire. Teoretic, timpul de topire sub acţiunea curentului minim de topire este infinit. Cu creşterea intensităţii curentului care trece prin siguranţă, timpul de topire a fuzibilului se reduce şi devine foarte mic la scurtcircuite.

Curba $t = f(I)$ tinde asimptotic spre valoarea minimă a curentului de topire I_{min}, pentru $t \rightarrow \infty$. Intensitatea acestui curent depăşeşte de obicei, 20-25% intensitatea curentului nominal al fuzibilului.

Din punct de vedere al încălzirii întregii siguranţe, adică a patronului şi a contactelor sale, cel mai greu este regimul curentului minim de topire.

3.1.3. Siguranțe fuzibile de joasă tensiune

Siguranțele fuzibile sunt aparate cu întrerupere automată, care protejează circuitele de iluminat şi de forță împotriva efectelor termice şi dinamice produse de curenții de suprasarcină şi scurtcircuit. Siguranțele fuzibile se caracterizează printr-o construcție foarte simplă şi robustă, care au încorporat ca element de protecție un fir rotund sau o bandă conductoare, montate în serie cu obiectul de protejat. În cazul curenților de scurtcircuit şi la suprasarcini mari, metalul din care este confecționat fuzibilul, având cea mai redusă stabilitate termică din întreg circuitul, se topeşte şi întrerupe circuitul, realizând protecția.

Din punct de vedere constructiv, siguranțele de joasă tensiune se clasifică în:

– siguranțe fuzibile de mare putere de rupere, utilizate în instalații industriale, cu tensiuni nominale de până la 1000 V şi curenți nominali între 100 şi 1000 A;

– siguranțe fuzibile cu filet utilizate în instalații industriale şi casnice la tensiuni până la 1000 V şi curenți nominali între 6 şi 100 A şi

– siguranțe fuzibile miniatură utilizate la redresoare, aparate de radio şi televiziune, instalații electronice, la tensiuni până la 500 V şi curenți nominali între 0,1 şi 6 A.

Reprezentarea tabelară a principalelor tipuri de siguranțe fuzibile de joasă tensiune şi a parametrilor lor este dată în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Clasificarea siguranțelor fuzibile de joasă tensiune

Nr. crt.	Denumire	Tensiune nominală V	Curent nominal A	Curentul prezumat întrerupt A	Folosire
1	Siguranță fuzibilă de mare putere	<1000 V	100…1000	50	Instalații industriale
2	Siguranță fuzibilă cu filet	<1000 V	16…100	<33	Instalații industriale şi casnice
3	Siguranță fuzibilă miniatură	<550 V	0.1…10	<2	Aparate electrice (redresoare, aparate de radio şi TV)

Se numesc siguranțe fuzibile de uz industrial siguranțele la care elementul înlocuitor nu este accesibil şi nu poate fi înlocuit decât de persoane

calificate; siguranțele fuzibile de uz casnic cele ce se utilizează în instalațiile casnice, la cer elementul înlocuitor este accesibil.

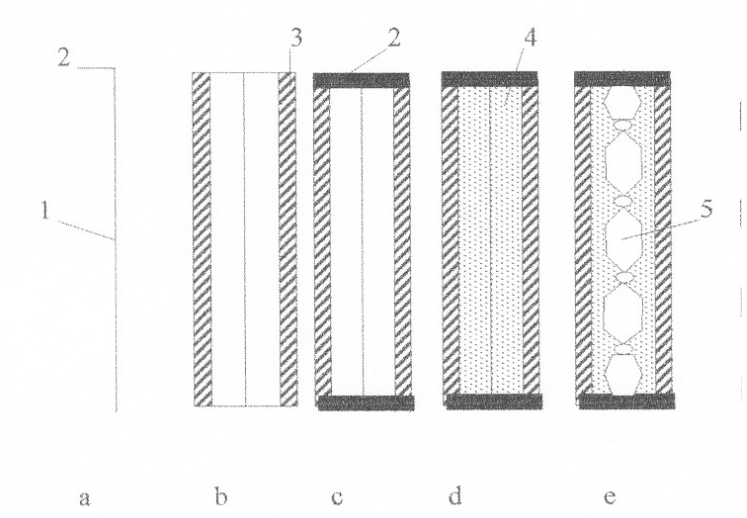


Figura 3.4. Evoluția variantelor constructive ale siguranțelor de joasă tensiune.
a) – fir fuzibil în aer liber; b) fuzibil inclus într-un tub deschis; c) fuzibil inclus într-un tub închis; d) fuzibil inclus într-un tub de nisip; e) bandă fuzibilă prevăzută cu istmuri (strictiuni);

Din punct de vedere **constructiv** siguranțele fuzibile de joasă tensiune se prezintă sub numeroase variante. În figura 3.4. este prezentată evoluția variantelor constructive de siguranțe fuzibile de la variantele primitive deschise când arcul electric era stins în aer liber, la variantele închise când arcul este stins într-un tub de sticlă sau porțelan închis la capete cu sau fără umplutură de nisip.

Pentru a obține puteri de rupere mari, în timpul arderii fuzibilului trebuie să de reducă la minim cantitatea de vapori metalici. Utilizarea cuprului si argintului care comparativ cu plumbul au o foarte bună conductibilitate electrică şi punct de topire ridicat, a permis mărirea densității de curent în fuzibil şi obținerea unor secțiuni mai reduse, reducându-se astfel volumul de metal care se vaporizează.

Siguranțele fuzibile umplute cu **nisip pur şi uscat** (λ=6,512 $Wm^{-1}grd^{-1}$), comparativ cu firele fuzibile în aer au o putere de rupere foarte mare având în anumite condiții un accentuat efect de limitare a curenților de scurtcircuit.

Elementele fuzibile executate din material cu punct de topire ridicat (cupru şi argint), la suprasarcini mici şi de lungă durată solicită intens termic siguranța. Micşorarea acestei solicitări s-a reuşit pe baza fenomenului denumit efect metalurgic. Este cunoscut faptul că anumite aliaje eutectice de

staniu şi plumb, uşor fuzibile, dacă vin în contact în stare topită cu unele metale greu fuzibile (cupru, alamă, argint), sunt capabile să le dizolve. Pentru declanşarea acestui fenomen într-o siguranţă este nevoie ca pe elementul fuzibil, executat dintr-un metal cu punct de fuziune ridicat să se prindă prin lipire o mică picătură (bobiţă) dintr-un metal cu punct de fuziune scăzut (staniu, eutecticul plumb-cadmiu, etc).

În momentul în care elementul fuzibil, sub acţiunea supracurentului, atinge temperatura de topire a picăturilor, acestea se topesc şi dizolvă metalul elementului fuzibil în punctul de lipire la temperaturi inferioare temperaturii de topire a elementului. Procesul de difuzare a metalului picăturii se intensifică o dată cu creşterea încălzirii, producându-se o evoluţie în avalanşă. Arcul de întrerupere ia naştere chiar în zona picăturii, unde masă topită conţine un aliaj cu mare rezistivitate şi deci unde încălzirea este mai puternică. Acest arc topeşte şi restul lungimii elementului fuzibil. Siguranţele cu efect metalurgic au caracteristica de topire inertă (cu întârziere).

În instalaţiile electroenergetice se utilizează o largă gamă de siguranţe fuzibile cu capacităţi de rupere medie si mare. Astfel, industria românească produce pentru medie putere siguranţe cu filet tip L_S, la care legăturile se fac în spatele panoului (la curenţii nominali: 25, 63, 100 A), L_F şi L_{Fi} la care legăturile se execută în faţa panoului pe care se montează soclul (25, 63, 100 A), cu şi fără capac de protecţie.

Elementele principale ale siguranţelor **fuzibile tip cu filet** sunt soclul, patronul (care are încorporat elementul fuzibil şi firul de semnalizare) şi capacul (filetat pentru soclu). Pentru curenţii de scurtcircuit de valoare mai redusă se execută siguranţe tubulare de 30 si 69 A.

În figura 3.5. sunt prezentate câteva variante constructive de siguranţe fuzibile cu filet în construcţie normală sau mignon (miniaturizată)

Figura 3.5. Elementele constructive ale siguranţelor fuzibile cu filet.

Pentru protecția circuitelor la curenți de scurtcircuit mari se execută siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere **MPR,** alcătuite din patron (două cuțite de contact), fuzibil (cu acțiune rapidă şi ultrarapidă) şi suport cu furci de contact.

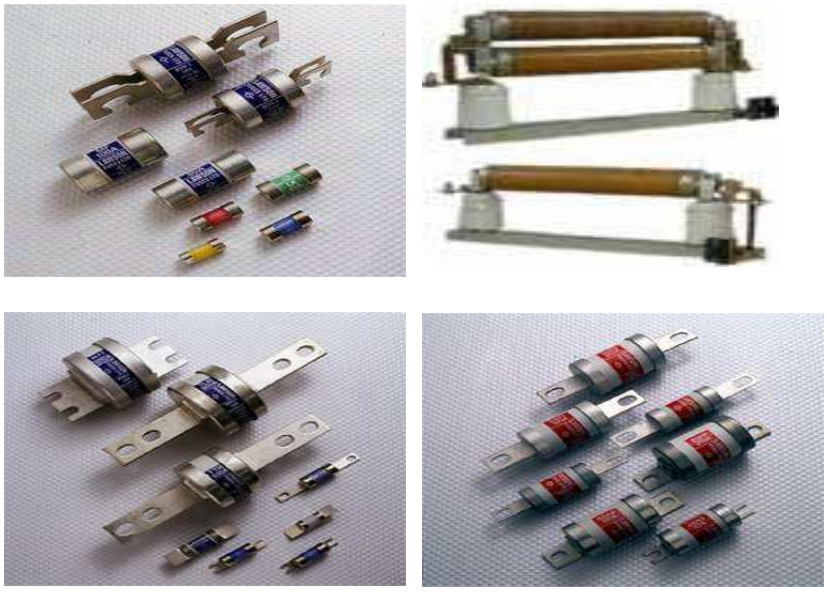


Figura 3.6. Siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere MPR.

Introducerea şi scoaterea patronului din furci se realizează prin intermediul unui mâner izolant detaşabil. Această operație manuală se face când prin barele circuitului nu există curent. Astfel se realizează siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere tip MPR, pentru curent alternativ de 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630 A şi pentru curent continuu de 250, 400 A.

3.1.4. Siguranțe fuzibile de medie şi înaltă tensiune

Pentru instalații interioare, la tensiunea de 3-35 kV, cele mai răspândite sunt siguranțele cu umplutură de mică granulație (nisip cuarțos cu conținut de siliciu de până la 99,5%). Puterea de rupere maximă a acestor siguranțe reprezintă 300 MVA pentru toate tensiunile menționate.

Siguranțele fuzibile de medie şi înaltă tensiune se clasifică după mai multe criterii astfel:

1) După felul montajului
   a) de interior;
   b) de exterior;
2) După tensiunea nominală:
   7,2; 12; 24; 42 kV;
3) După destinație (felul circuitului):

- pentru circuite principale;
- pentru circuite de măsură (transformatoare de măsură);

4) După numărul de perechi de poli:
   a) monopolare;
   b) bipolare;
   c) tripolare;

Firele fuzibile se execută în trepte, pentru a reduce supratensiunile în momentul întreruperii curenților de scurt circuit. În figura 3.7 este reprezentată o bandă fuzibilă caracterizată de prezența istmurilor şi de prezența unor porțiuni cu aliaj eutectic (96,5% Sn + 3,5% Ag), ceea ce va îmbunătăți comportarea elementului fuzibil la curenți de suprasarcină.

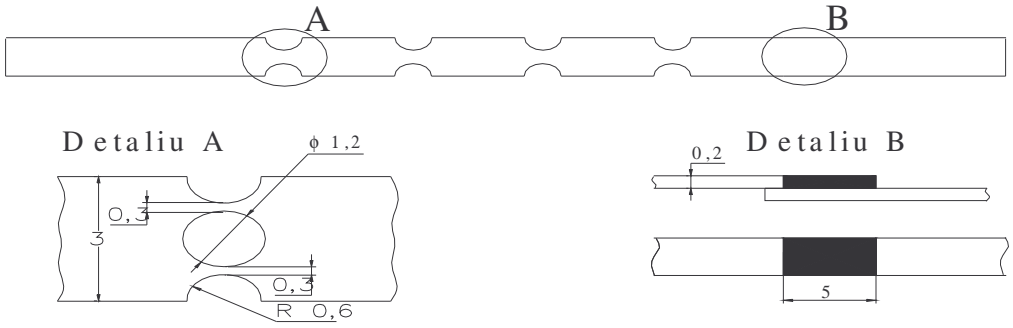


Figura 3.7. Fuzibilul siguranțelor de medie tensiune

Datorită efectului apreciabil de limitare a curentului pe care-l au siguranțele umplute cu nisip cuarțos, ele se pot folosi pentru protecția transformatoarelor de tensiune. Astfel de siguranțe se fabrică pentru 3, 6 şi 10 KV în patroane de dimensiuni identice, pentru 15 şi 20 KV în patroane de dimensiunea a doua, şi pentru 35KV în patroane de a treia dimensiune. În cazul tensiunilor de 35-110 kV, se foloseşte siguranță tubulară împuşcătoare, adică siguranța la care stingerea arcului se realizează cu ajutorul suflajului longitudinal în tubul generator de gaze.

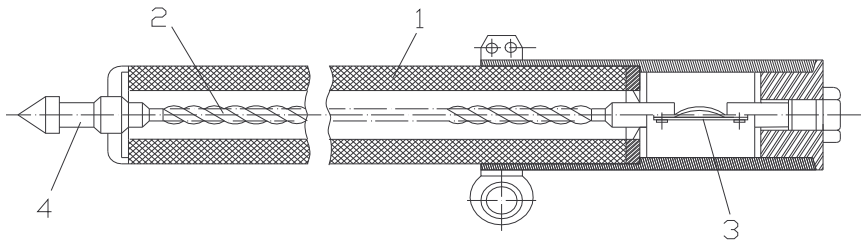


Figura 3.8. Secțiune longitudinală printr-o siguranță fuzibilă de 35 kV

În figura 3.8. este reprezentată o secțiune prin patronul unei siguranțe de 35 kV, curent de serviciu 100 A şi puterea nominală de rupere până la 500

kVA (intensitatea curentului nominal de rupere 8500 A). Patronul se compune din tubul 1, executat din material generator de gaze (viniplast), în canalul căruia se găseşte fuzibilul 2, legată la un capăt de capsula 4, iar la celălalt capăt de fuzibilul 3.

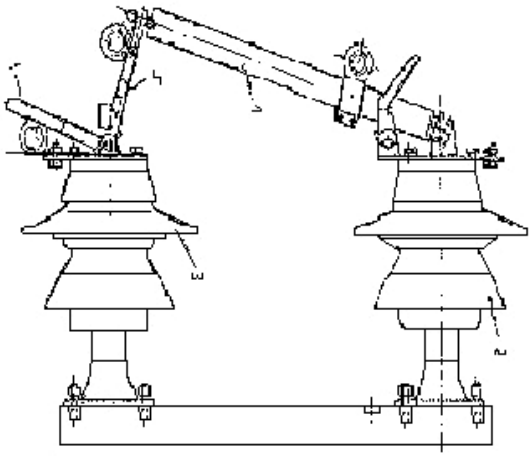


Figura 3.9. Siguranță fuzibilă tubulară.

Aspectul general al construcției siguranței tubulare pentru 35 kV a uneia dintre faze este reprezentat în figura 3.9.. Patronul 1 este fixat pe izolatorul 2. Pe un alt izolator 3, se găseşte cuțitul 5 de material izolant, prevăzut cu un cuțit care tinde să-l arunce în jos.

Acest cuțit este cuplat cu capsula 4 a legăturii flexibile 2 a patronului. La arderea fuzibilului 3 al siguranței, cuțitul trage legătura flexibilă din interiorul tubului şi arcul este întins de-a lungul acestuia. Începe o generare intensă de gaze şi creşte presiunea din tub, ceea ce ajută la aruncarea completă a legăturii flexibile din tub. Când legătura flexibilă este aruncată afară din tub, ia naştere o puternică mişcare a gazului şi arcul se stinge. Cu cât curentul de scurtcircuit este mai mare, cu atât procesul se desfăşoară mai intens şi cu atât arcul se stinge mai repede. Astfel de siguranță a fost elaborată pentru o tensiune nominală de 110 kV şi puterea nominală de rupere la 1000 MVA.

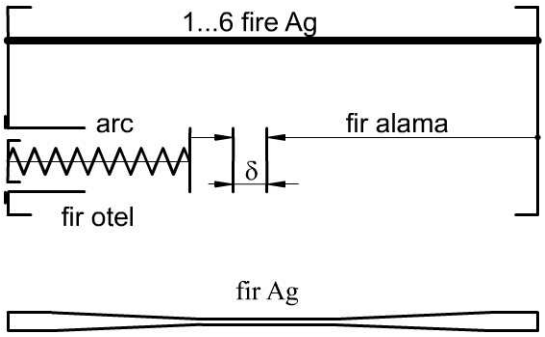


Figura 3.10. Fuzibilul unei siguranțe de înaltă tensiune.

Curba t = f(I) tinde asimptotic spre valoarea minimă a curentului de topire I_{min}, pentru $t \rightarrow \infty$. Intensitatea acestui curent depăşeşte de obicei, 20-25% intensitatea curentului nominal al fuzibilului.

Din punct de vedere al încălzirii întregii siguranţe, adică a patronului şi a contactelor sale, cel mai greu este regimul curentului minim de topire. La această valoarea a curentului, fuzibilul se încălzeşte până la temperatura maximă şi se topeşte, însă acest proces durează mai mult timp, datorită cărui fapt încălzirea tuturor elementelor siguranţei ajunge la valoare maximă.

Au fost propuse multe mijloace de reducere a temperaturii la care fuzibilul este distrus la un curent de suprasarcină de durată. Un mijloc foarte eficace şi raţional constă în acoperirea firului sau a lamei fuzibil printr-un dizolvant metalic. Se ştie că unele metale uşor fuzibile (plumbul, staniul) în stare topită sunt capabile să dizolve în ele metale mai greu fuzibile (cuprul, argintul).

Astfel dacă pe firul fuzibil de cupru sau de argint se prinde o bilă de plumb sau staniu, topirea acestei bile produce un proces activ de distrugere a firului de cupru sau de argint, în punctul unde este prinsă bila se produce ruperea firului şi formarea arcului, care continuă distrugerea fuzibilului.

În acest caz arcul se întinde până când ajunge la lungimea critică şi se stinge. În cazul unui curent de scurtcircuit bila de dizolvant nu are nici o influenţă.

Această metodă (a dizolvantului) este larg folosită în siguranţele de medie şi înaltă tensiune.

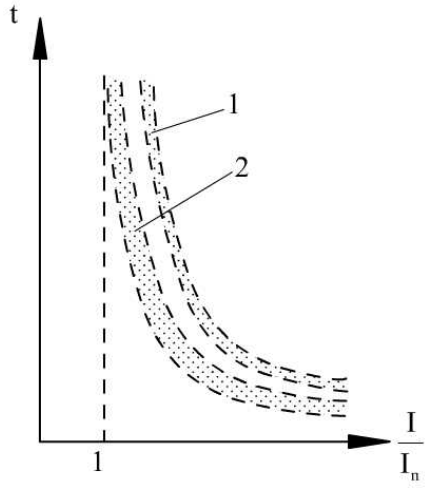


Figura 3.11. Caracteristica temporală de protecţie a siguranţelor fuzibile ţinând seama de dispersia valorilor.

1- domeniul de protecţie al siguranţelor normale;
2- domeniul de protecţie al siguranţelor rapide.

Asigurarea selectivitatea unei protecţii realizate cu siguranţe fuzibile se face pe baza caracteristicii temporale a acestora şi constă în funcţionarea numai a siguranţei mai apropiate de locul defectului. Pentru o reţea ramificată selectivitatea este asigurată când pentru orice curent de scurtcircuit caracteristicile de protecţie ale siguranţelor fuzibile nu se întretaie.

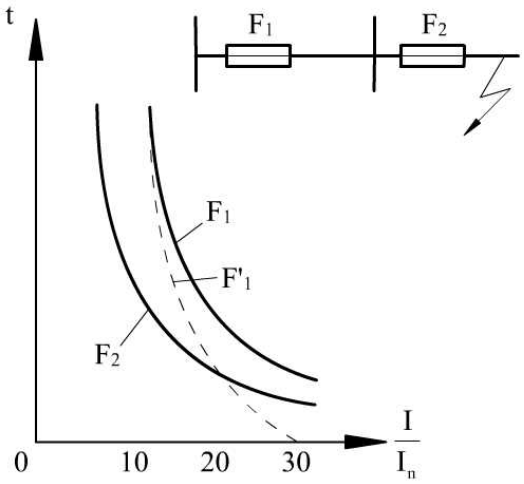


Figura 3.12. Asigurarea selectivităţii protecţiilor cu siguranţe fuzibile

Dacă caracteristica siguranţei F_1 ar intersecta caracteristica siguranţei F_2 (caracteristica punctată F_1') selectivitatea nu ar mai fi asigurată. Dar acest criteriu nu este suficient deoarece trebuie să se ţină seama de dispersia caracteristicilor temporale de protecţie care este de aproximativ 10%. Pentru aceasta siguranţa F1 se adoptă trecând peste o treaptă nominalizată a valorilor standardizate ale siguranţelor fuzibile.

Folosirea siguranţelor fuzibile ca elemente de protecţie prezintă următoarele avantaje: sunt cele mai ieftine aparate de protecţie; nu necesită întreţinere; nu prezintă pericol de explozie sau incendiu; sunt cea mai rapidă protecţie şi deci au cel mai pronunţat efect de limitare a curentului de scurtcircuit.

Dintre dezavantajele utilizării protecţiilor cu siguranţe fuzibile amintim: caracteristica de protecţie este influenţată de temperatura mediului ambiant; deconectarea se poate face doar pe o fază iar caracteristica de protecţie depinde de starea anterioară a circuitului. Rezultă că folosirea siguranţelor fuzibile pentru protecţia instalaţiilor electrice are în primul rând o justificare economică.

3.2. RELEE DE PROTECȚIE

Rolul releelor de protecție este de a proteja instalațiile electrice împotriva funcționării în regimuri anormale, prin transmiterea unor semnale electrice ce determină izolarea locului defect prin intermediul aparatelor de comutație.

Deşi există o mare diversitate de relee, toate se compun din trei elemente funcționale distincte: elementul sensibil S, elementul comparator C şi elementul executor E (figura 3.13.).

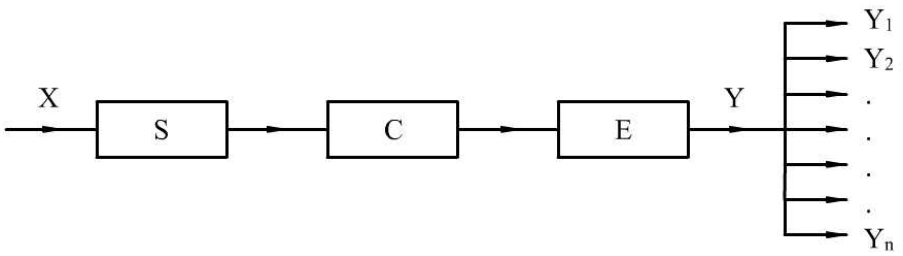


Figura 3.13. Schema bloc a unui releu de protecție

După cum se constată releul are un singur semnal de intrare (x) şi oricâte semnale de ieşire ($y_1 \ldots y_n$). Elementul sensibil S primeşte semnalul de intrare x şi îl transformă într-o mărime fizică necesară funcționării releului.

De exemplu, la un releu electromagnetic, acest rol este îndeplinit de un electromagnet ce transformă tensiunea sau curentul într-o forță sau cuplu ce permite funcționarea releului.

Elementul comparator C compară mărimea transformată de elementul sensibil, cu o mărime de referință şi la o anumită valoare a mărimii transformate trimite acțiunea asupra elementului executor. La releele electromagnetice acest rol îl îndeplineşte resortul antagonist.

Elementul executor E, în urma comenzii primite acționează asupra semnalelor de ieşire $y_1 \ldots y_n$, ce constituie contactele releului.

Releele electrice sunt aparate automate, care sub acțiunea parametrului electric de intrare produc variația bruscă a parametrilor de ieşire, la o anumita valoare a parametrului de intrare. Ele funcționează pe baza ciclului DA-NU (deschis-închis), făcând parte din categoria aparatelor cu comenzi discontinue.

Releele de protecție trebuie să îndeplinească patru condiții fundamentale: selectivitate, rapiditate, sensibilitate şi siguranță. Acțiunea releelor de protecție este selectivă, dacă acestea comandă deconectarea numai a părții defecte din sistem, prin contactoarele respective, celelalte părți ale

sistemului rămânând mai departe în funcțiune. Condiția de rapiditate este necesară, deoarece deconectarea rapidă a elementelor defecte din rețea prezintă o serie de avantaje ca: măreşte stabilitatea funcționării în paralel a generatoarelor sincrone, reduce timpul de alimentare cu tensiune scăzută a consumatorilor, micşorează distrugerile elementelor defecte, permite folosirea reanclanşării automate rapide a liniilor aeriene, etc.

Se face observația că cele două condiții de selectivitate şi rapiditate nu se pot satisface întotdeauna simultan. Releele de protecție trebuie să fie suficient de sensibile la defecte ca şi la regimurile anormale de funcționare, ce pot apărea în elementele protejate ale sistemelor electrice. In sfârşit, releele de protecție trebuie să fie întotdeauna gata de acțiune şi să funcționeze sigur în toate cazurile de defecte şi regimuri anormale de funcționare.

3.2.1. Clasificarea releelor de protecție

Clasificarea releelor de protecție se poate face după mai multe criterii.

A) După **principiul de funcționare** al mecanismului motor:

– relee termice,
– electromagnetice,
– de inducție,
– magnetoelectrice,
– electrodinamice,
– electronice.

B) După **mărimea pe care o protejează**:

– relee de curent
– relee de tensiune
– relee de putere
– relee de impedanță
– relee de frecvență
– relee de timp
– relee de temperatură

C) După felul în care este realizată **acțiunea față de o anumită valoare** a mărimii de intrare:

– relee maximale, care acționează dacă mărimea protejată depăşeşte o anumită valoare

– relee minimale, care acționează când mărimea protejată scade sub o anumită valoare (sau dispare)

– relee direcționale, care acționează dacă se schimbă sensul mărimii protejate (de exemplu: sensul de circulație al puterii)

D) După **modul în care acționează asupra aparatelor de comutație**:

– relee directe, la care elementul de protecție acționează direct asupra aparatului de comutație

– relee indirecte, la care acțiunea se transmite prin intermediul unor contacte din circuitul electric auxiliar al aparatului de comutație.

E) După **modul de conectare** în circuit:

– relee primare, la care înfăşurarea este parcursă de mărimea din circuitul de protejat

– relee secundare a căror înfăşurare este alimentată din secundarul unui transformator de măsură prin a cărui primar trece mărimea din circuitul de protejat.

F) In funcție de valoarea **timpului de acționare** t_a, definit ca timpul din momentul apariției semnalului de intrare care acționează asupra elementului sensibil al releului şi până în momentul acționării releului, releele se clasifică în:

– relee fără inerție (ultrarapide), când $t_a<10ms$

– relee rapide, când $t_a<5*10^{-2}s$

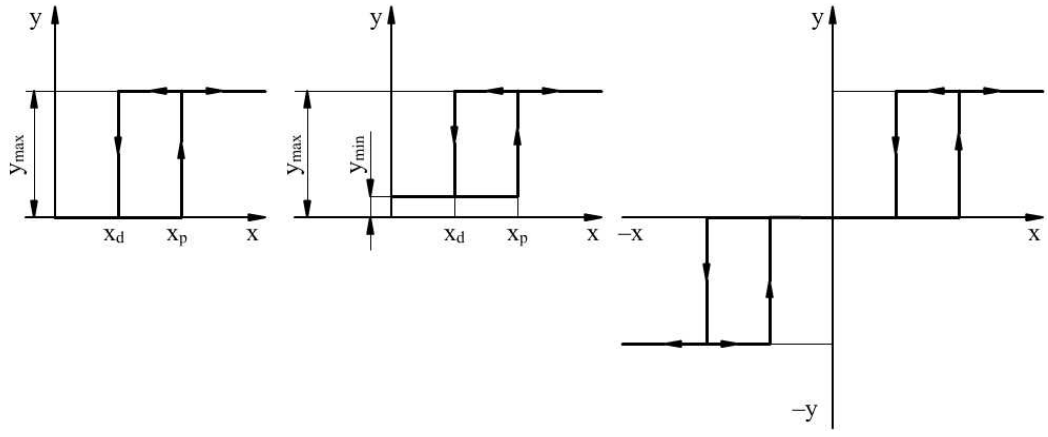
– relee normale, când $0,15s>t_a>5*10^{-2}s$

– relee lente, când $1s>t_a>0,15s$

– relee temporizate, când $t_a>1s$

3.2.2. Caracteristicile releelor de protecție.

Caracteristica de bază a releelor o constituie caracteristica intrare ieşire, y = f(x), care reprezintă legătura cu caracter discontinuu dintre mărimea de intrare x şi mărimea de ieşire y.



a) b) c)

Figura 3.14. Caracteristicile intrare-ieşire a releelor.
a) Releu minimal, b) Releu maximal, c) Releu polarizat.

Aşa cum se vede din figură (3.14.a), dacă mărimea de intrare creşte în intervalul de la 0 la 1, mărimea de ieşire rămâne nulă. În momentul în care mărimea de intrare atinge valoarea x_a, mărimea de ieşire variază brusc la valoarea y_{max}.

Mărimea x_d poartă denumirea de **parametru de acționare** şi reprezintă valoarea mărimii de intrare la care sistemul mobil se pune în mişcare şi acționează contactele. În continuare dacă x creşte mărimea de ieşire rămâne constantă. În procesul de micşorare al mărimii de intrare până la x_r mărimea y rămâne constantă şi numai la $x = x_r$ variază brusc până la valoarea 0 (porțiunea 4-5). Mărimea x_r poartă denumirea de **parametru de revenire** şi reprezintă mărimea de intrare la care sistemul mobil începe să se deplaseze în sens contrar celui de acționare, spre poziția de repaus.

Se mai defineşte **parametrul reglat** x_R ca fiind valoarea reglată sau prescrisă pentru care se stabileşte că trebuie să aibă loc acționarea.

Raportul:

$$K_r = \frac{x_r}{x_a} \qquad (3.2.)$$

se numeşte factor de revenire.

Cu cât k_r este mai aproape de unitate cu atât releul este mai sensibil.

Eroarea de reglaj se calculează:

$$\varepsilon_r = \frac{x_a - x_R}{x_R} \cdot 100\% \qquad (3.3.)$$

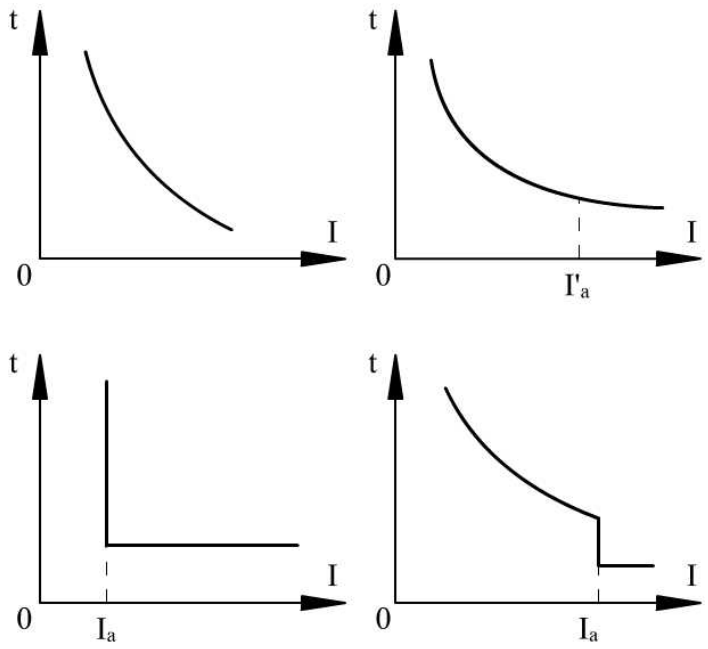


Figura 3.15. Caracteristicile temporale ale releelor de curent.

Dacă se notează cu P_a puterea de acționare, care este puterea absorbită de releu pentru a funcționa şi cu P_c puterea comandată, adică puterea din circuitul de ieşire, atunci se defineşte factorul de comandă:

$$K_c = \frac{P_c}{P_a} \qquad (3.4.)$$

care este supraunitar şi avantajos să fie cât mai mare.

O altă caracteristică importantă a releelor o reprezintă caracteristica temporală sau de funcționare, care ne dă dependența dintre durata de acționare şi valoarea parametrului de ieşire.

Astfel în figura 3.15. se reprezintă diverse caracteristici temporale ale releelor de curent. Se deosebesc astfel:

– relee cu caracteristică dependentă, la care timpul de acționare scade pe măsura creşterii curentului din înfăşurarea releului (cazul releelor termice şi de inducție);

– relee cu caracteristică independentă, la care timpul de acționare nu depinde de valoarea curentului (cazul releelor electromagnetice);

– relee cu caracteristică semidependentă, la care timpul de acționare este funcție de curent numai până la o anumită valoare a curentului I_a, de la care în sus timpul devine constant şi independent de timp;

– relee cu caracteristică limitat dependentă sau mixtă, la care timpul de acționare este în funcție de curent, însă la o anumită valoare mare a curentului I_a (curent de scurtcircuit) timpul de acționare devine foarte mic, aproape zero (cazul releelor RTp-C, sau combinații de relee termice şi electromagnetice).

3.2.3. Relee termobimetalice

Releele sunt aparate de protecție, care acționând asupra unui aparat de comutație, produc întreruperea alimentării unui consumator, la o anumită temperatură a elementului sensibil al releului. Elementul sensibil sau senzorul este o lamelă din bimetal.

Releele termobimetalice sunt relee de curent şi se utilizează mai ales pentru protecția maşinilor electrice, împotriva încălzirilor excesive ca urmare a funcționării maşinilor la suprasarcini de lungă durată.

Curentul de suprasarcină al motorului, încălzeşte mecanismul bimetalic al releului şi când temperatura atinge valoarea maximă admisă, releul termobimetalic trebuie să acționeze asupra unor contacte care provoacă deconectarea motorului de la rețea.

Releele termobimetalice nu asigură protecția împotriva curenților de scurtcircuit, deoarece rezistența de încălzire a acestor relee se poate arde

înainte ce aceste relee să acționeze. De aceea la protecția motoarelor electrice aceste relee termobimetalice se asociază cu relee electromagnetice cu acțiune instantanee sau siguranțe fuzibile cu rol de protecție împotriva curenților de scurtcircuit.

3.2.3.1. Principiul de funcționare al releelor termobimetalice

Lamela bimetalică este formată din două straturi de metal intim unită pe toată suprafața de contact, prin sudură sau lipire. Cele două metale au coeficienți de dilatare diferiți. Cum la încălzire una din componente se dilată mai puternic ca cealaltă, termobimetalul se curbează la încălzire şi anume cu atât mai mult, cu cât mai mare este diferența dintre coeficienții de dilatare ai ambelor componente.

Componenta cu coeficient de dilatare mai mic constituie componenta pasivă, iar cea cu coeficient de dilatare mai mare reprezintă componenta activă. Aliajele din fier-nichel, cu proprietățile lor specifice, stau la baza realizării termobimetalelor. Invarul (aliaj Fe-Ni cu 36% Ni), având coeficientul de dilatare minim se foloseşte în calitate de componentă pasivă, iar aliajele cuprului cu zinc, staniu sau nichel, care au coeficienți de dilatare mari se folosesc drept componente active.

Prin urmare, lamela bimetalică are proprietatea de a-şi schimba forma în mod automat, funcție de valoarea temperaturii materialului lamelei; parametrul de intrare este temperatura şi parametrul de ieşire curbarea lamelei. Față de alte dispozitive bazate pe dilatare, bimetalul are avantajul că săgeata care se obține la capătul liber al lamelei este cu mult mai mare decât cea obținută prin simpla dilatare termică. În esență la nivelul bimetalului se obține cea mai simplă transformare de energie termică în energie mecanică, cu multiple aplicații în tehnică.

3.2.3.2. Caracteristica de protecție a releului termobimetalic

Această caracteristică exprimă dependența dintre timpul de acționare al releului şi valoarea curentului care parcurge bimetalul. Este **o caracteristică de protecție dependentă**, constatându-se că o dată cu creşterea curentului ce parcurge bimetalul timpul de acționare al releului scade. În figura 3.16 s-a reprezentat prin curba 2 caracteristica de protecție a bimetalului în stare rece, prin curba 3 caracteristica de protecție a bimetalului preîncălzit şi prin curba 1 caracteristica tehnică a obiectului de protejat (reprezentarea timpului este făcută la scară logaritmică).

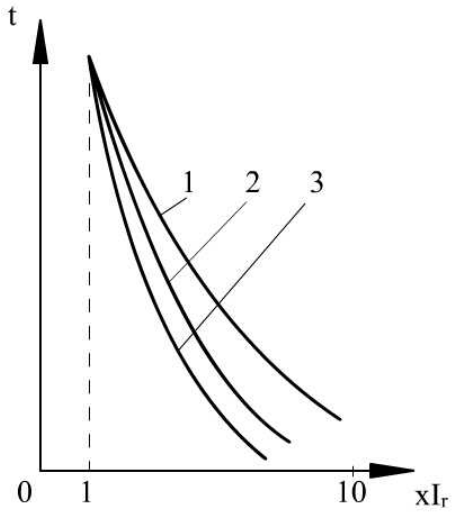


Figura 3.16. Caracteristicile temporale de protecție a unui releu termobimetalic.

O protecție bună se realizează atunci când caracteristicile 2 şi 3 se află sub caracteristica 1, pentru toată gama curenților posibili. Datorită alurii dependente a caracteristicii de protecție, releele termobimetalice sunt indicate pentru protecția motoarelor electrice. Aceasta deoarece supracurenții de scurtă durată, de exemplu la pornirea motoarelor, nu sunt suficienți ca prin încălzirea termobimetalului să producă declanşarea motorului de la rețea.

În schimb, la supracurenți de durată, (de exemplu la rămânerea în două faze) se obține o declanşare după un anumit timp, funcție de valoarea curentului.

Caracteristica de protecție poate fi obținută prin calcul, sau se poate determina experimental pentru releele construite.

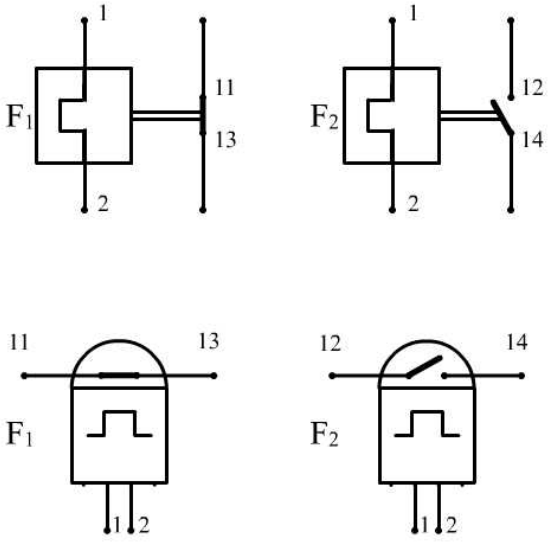


Figura 3.17. Modul de reprezentare în schemele electrice

Din punct de vedere al reprezentării releelor termobimetalice în schemele electrice, se pot folosi modalităţile prezentate în figura 3.17. În toate cazurile se constată existenţa a două circuite: unul parcurs de curentul de protejat (contactele 1-2) şi un contact aflat în alt circuit (de exemplu în circuitul bobinei de comandă a contactorului), ce poate fi normal închis (contactul 11-13) sau normal deschis (contactul 12-14).

3.2.3.3. Variante constructive de relee termobimetalice

Termobimetalele, au proprietatea transformării unei variaţii de temperatură într-o mişcare datorită deformării. La realizarea releelor termobimetalice se foloseşte atât această proprietate cât şi proprietatea de elasticitate a termobimetalelor.

Prin aplicarea unei forţe de sens contrar deformării se pot obţine tensiuni interne, proporţionale cu variaţiile de temperatură.

Din punct de vedere tehnic se pot utiliza următoarele funcţii ale termobimetalelor: efectul de deformare (curbare); efectul de forţă datorită tensiunilor interne; efectul combinat de deformare şi forţă; efectul de temporizare la transmiterea unei comenzi; efectul de compensare a temperaturii mediului ambiant.

Aceste efecte pot fi realizate cu termobimetale de cele mai diferite forme ca: benzi drepte sau uşor îndoite care se curbează, piese în formă de U, spirale care se înfăşoară sau se desfăşoară, discuri a căror curbură variază.

După modul de încălzire al elementului sensibil bimetalic se deosebesc mecanisme bimetalice cu încălzire directă, indirectă sau combinată (mixtă). La încălzirea directă, lamela se încălzeşte prin efect electrocaloric datorită trecerii curentului electric prin însăşî lamela bimetalică.

Cum efectul de deformare al termobimetalelor încastrate la un capăt este cel mai frecvent folosit, se prezintă în figura 3.18. două soluţii constructive pentru releele cu încălzire directă.

Astfel în figura 3.18 a) se prezintă un releu termobimetalic dintr-o bandă de bimetal fără pretensionare şi în figura 3.18.b) cu pretensionare.

Aceste relee sunt capabile să deschidă un contact al unui circuit electric dacă temperatura depăşeşte o anumită valoare limită.

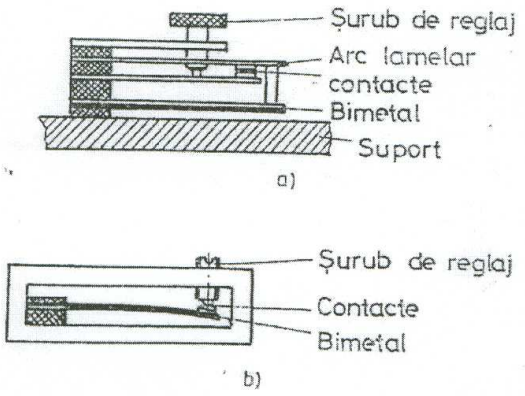


Figura 3.18. Relee termobimetalice cu încălzire directă, utilizând efectul de deformare.

a)releu bimetalic din bandă bimetalică fără pretensionare.

b) releu bimetalic din bandă bimetalică cu pretensionare.

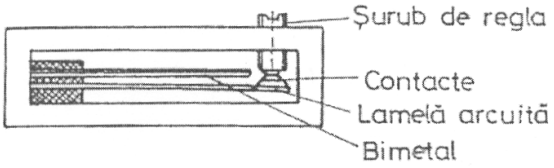
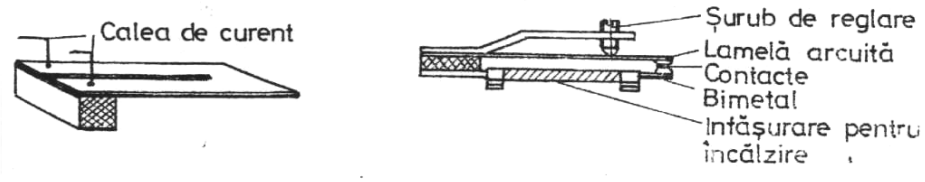


Figura 3.19. Releu termobimetalic cu încălzire directă utilizând efectul de deformare şi forţă.

Utilizarea concomitentă sau succesivă a efectului de deformare şi a efectului de forţă este exemplificată în construcţia din figura 3.19. Aici lamela bimetalică încastrată se deplasează întâi liber, proporţional cu temperatura, apoi acţionează cu o forţă provocând deschiderea unui contact din circuitul electric al bobinei contactorului.

Există variante constructive de relee termobimetalice în care elementul bimetalic încastrat are forma literei U, ca în figura 3.20.



a) b)

Figura 3.20. Tipuri constructive de relee termobimetalice.

a) Releu termobimetalic în formă de U.

b) Încălzirea indirectă a releelor termobimetalice.

În cazul folosirii încălzirii indirecte bimetalul este încălzit prin intermediul unui rezistor de încălzire cu firul bobinat pe lamelă sau sub forma unei plăcuţe de mare rezistivitate.

În cazul încălzirii combinate (mixte), lamela este încălzită pe cale directă şi indirectă prin rezistor, curentul parcurgând lamela termobimetalică şi rezistorul legate în serie ca în figura 3.21. Când curentul din circuitul de sarcină este prea mare, bimetalul se leagă în circuit prin intermediul unui transformator de curent.

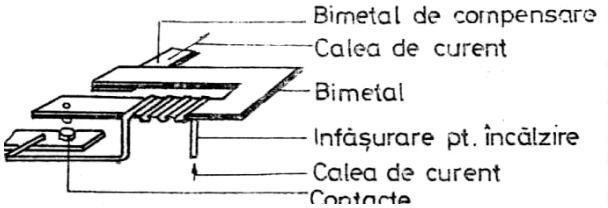


Figura 3.21 **Releu termobimetalic cu încălzire combinată**

Pentru a obține o temporizare a unei acționări se poate folosi efectul de deformare al bimetalului, obținându-se temporizări de la câteva secunde la câteva minute.

Pentru protecția motoarelor asincrone trifazate, releele termobimetalice sunt grupate în **blocuri de relee**.

Elementul motor al acestor relee sunt lamelele termobimetalice 1, cu efect de deformare şi forță. Conform figurii 3.22. aceste blocuri cuprind şi un mecanism format din pârghia 2, bimetalul de compensare 3, piesa 4 care împinge lamela elastică 5 şi care basculează contactul mobil din poziția B în poziția C. Contactul mobil se află conectat la borna A. Cele trei termobimetale sunt legate prin bornele R, S, T, la rețeaua trifazată şi prin U, V, W, sunt înseriate cu înfăşurările motorului trifazat, fiind parcurse de curentul de protejat.

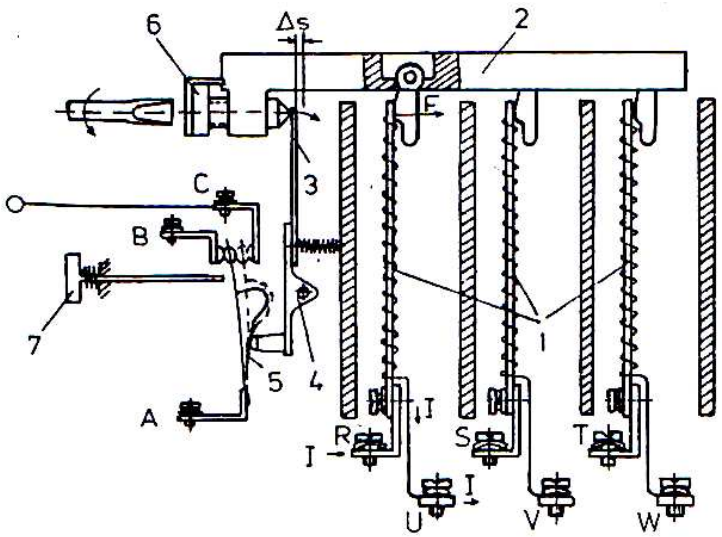


Figura 3.22. Bloc de relee termobimetalice

Lamelele termobimetalice de pe orice fază se curbează în caz de suprasarcină deplasând pârghia 2 în sensul săgeții. Reglarea curentului de acționare se face cu şurubul 6, care poate fi rotit în fața unei scale gradate.

La depăşirea curentului de reglaj, după un timp ce depinde de valoarea supracurentului, piesa 4 prin împingerea resortului săritor (lamela elastică 5), produce întreruperea contactului normal închis A-B înseriat cu bobina contactorului, respectiv închide contactul normal deschis A-C ce poate fi introdus într-o schemă de semnalizare. În cazul supracurenților de scurtă durată (pornirea motorului) sau a funcționării îndelungate la curentul nominal, lamelele de bimetal se curbează dar nu suficient pentru a acționa contactul.

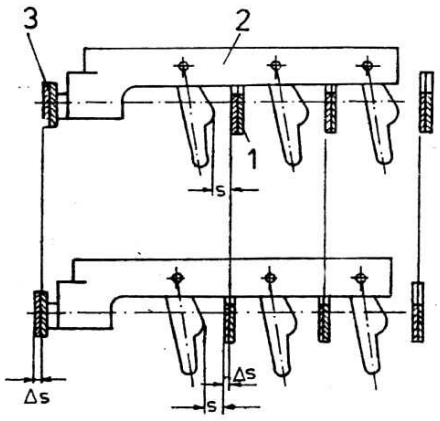


Figura 3.23.Dispozitivul de compensare termică a blocului de relee termobimetalice.

Pentru a face blocul de relee termobimetalice insensibil la modificările temperaturii ambiante, acesta se echipează cu dispozitive de compensare termică, prin utilizarea unui bimetal de compensare.

Conform figurii 3.23. la creşterea temperaturii mediului ambiant, bimetalul de compensare 3, care este un bimetal pasiv (neparcurs de curent), deplasează spre stânga pârghia 2 cu o distanță Δ_s şi deoarece şi bimetalele principale 1 se curbează cu Δ_s în acelaşi sens, cursa ce urmează a o străbate bimetalele principale în cazul unui curent de suprasarcină, s, rămâne constantă. Menționăm că după acționarea blocului de relee de protecție, oprirea motorului şi răcirea lamelelor bimetalice, releul trebuie rearmat prin intermediul butonului 7 din figura 3.22., care readuce contactul mobil în poziția inițială. Se remarcă că se realizează şi blocuri de relee cu posibilitatea de rearmare automată a contactului mobil după acționare.

Reprezentarea în schemele electrice a blocului de relee termobimetalice este arătată în figura 3.24.

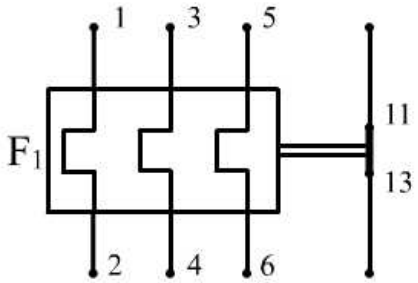


Figura 3.24. Reprezentarea blocului de relee termobimetalice în schemele electrice

Bornele 1, 3, 5, se leagă la ieşirea din contactele principale ale contactorului; bornele 2, 4, 6, se leagă la intrarea în motor; iar contactul 11-13 normal închis se înseriază cu circuitul de comandă al contactorului. Astfel dacă curentul din circuitul de protejat depăşeşte valoarea reglată, se deschide contactul 11-13 întrerupându-se alimentarea bobinei contactorului şi astfel se declanşează motorul de la reţea.

3.2.3.4. Calculul lamelei termobimetalice

Pentru a putea proiecta o lamelă termobimetalică din componenţa unui releu sau bloc de relee, ca şi pentru reglarea acestor relee, trebuie să putem calcula săgeata la capătul liber a unei lamele încastrate la un capăt. Dacă o asemenea lamelă termobimetalică este parcursă de curent ea e curbează, determinând la capătul liber săgeata f, aşa cum rezultă din figura 3.25.

La o variaţie de temperatură cu: $\Delta\theta=\theta-\theta_0$ (3.5.)

raza de curbură a lamelei termobimetalice variază conform relaţiei:

$$\frac{1}{r_\theta}-\frac{1}{r_0}=\frac{6(\alpha_1-\alpha_2)(1+m)^2}{3(1+m)^2+(1+mn)\left(m^2+\frac{1}{mn}\right)}\frac{\theta-\theta_0}{\delta} \qquad (3.6.)$$

unde s-a notat cu:

r_θ – raza de curbură la temperatura θ;

r_0 – raza de curbură la temperatura θ_0;

$m = \delta_1/\delta_2$ este raportul grosimilor componentelor lamelei;

$n = E_1/E_2$ este raportul modulelor de elasticitate al componentelor;

α_1, α_2 sunt coeficienţii de dilatare liniară a componentei active, respectiv a celei pasive.

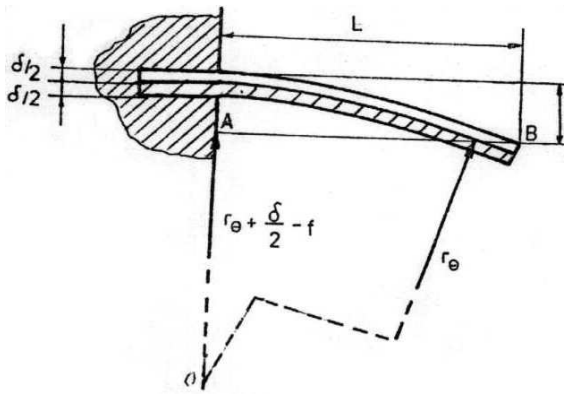


Figura 3.25. Calculul săgeții lamelei termobimetalice

La grosime egală a celor două componente, ca în figura 3.25. avem

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta/2$$

Considerând că şi $E_1=E_2$, cu m=1 şi n=1, relația (3.6.) devine:

$$\frac{1}{r_\theta} - \frac{1}{r_0} = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)}{2}\frac{\theta - \theta_0}{\delta} \qquad (3.7.)$$

Expresia:

$$V = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)}{2} \qquad (3.8.)$$

poartă denumirea de coeficientul lui Villarceau şi are semnificația curbării liniei mijlocii, în direcția lungimii, a unei benzi de termobimetal la o variație de temperatură cu un grad şi o grosime unitară a benzii bimetalice.

Dacă banda a fost inițial plană ($r_0=\infty$), din relațiile (3.7.) şi (3.8.) rezultă:

$$V = \frac{1}{r_\theta}\frac{\delta}{\Delta\theta} \qquad (3.9.)$$

În calculele practice se foloseşte o constantă $\alpha=V/2$, denumită curbura specifică şi care constituie o constantă de material:

$$\alpha = \frac{1}{r_\theta}\frac{\delta}{2\Delta\theta} \qquad (3.10.)$$

Deoarece raza de curbură r_θ este o mărime de determinat din măsurători şi deoarece ne interesează determinarea săgeții la capătul liber f, din triunghiul dreptunghic OAB se poate scrie:

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 \qquad (3.11.)$$

unde

$$OB = r_\theta + \frac{\delta}{2} \qquad (3.12.)$$

$$OA = r_\theta + \frac{\delta}{2} - f \qquad (3.13)$$

deoarece: $AB \cong L$

Avem:

$$\left(r_\theta + \frac{\delta}{2}\right)^2 = \left[\left(r_0 + \frac{\delta}{2}\right) - f\right]^2 + L^2 \qquad (3.14.)$$

$$\left(r_\theta + \frac{\delta}{2}\right)^2 = \left(r_\theta + \frac{\delta}{2}\right)^2 - 2f\left(r_\theta + \frac{\delta}{2}\right) + L^2 + f^2 \qquad (3.15.)$$

$$2f\left(r_0 + \frac{\delta}{2}\right) = L^2 + f^2 \qquad (3.16)$$

$$r_0 + \frac{\delta}{2} = \frac{L^2 + f^2}{2f} \qquad (3.17)$$

de unde:

$$\frac{1}{r_\theta} = \frac{2f}{L^2 + f^2 - f\delta} \qquad (3.18.)$$

şi care înlocuită în (3.10.) determină:

$$\alpha = \frac{2f}{L^2 + f^2 - f\delta} \cdot \frac{\delta}{2\Delta\theta} \qquad (3.19.)$$

Deoarece săgeata $f << L$ şi produsul $f\delta$ poate fi neglijat în raport cu L^2, din relația (3.19.) se obține valoarea săgeții sub forma:

$$f = \frac{\alpha L^2}{\delta}\Delta\theta \qquad (3.20.)$$

În această relație valoarea curburii specifice α, dată în manuale, este cuprinsă între $3\cdot10^{-6} \div 23\cdot10^{-6}$[1/grad], iar variația de temperatură se poate determina din ecuația bilanțului termic sub forma:

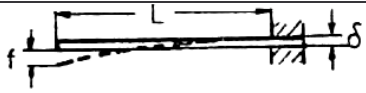
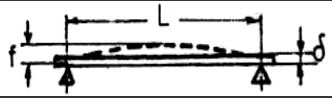
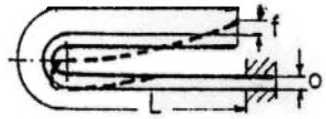
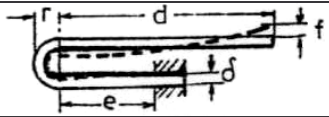
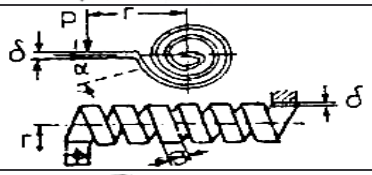
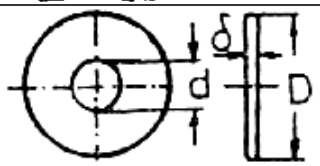
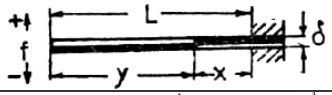
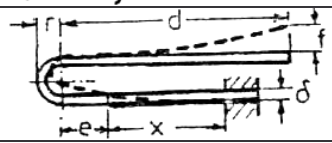
$$Pt = cM\Delta\theta \qquad (3.21.)$$

$$I^2Rt = cM\Delta\theta \qquad (3.22.)$$

$$\Delta\theta = \frac{I^2Rt}{cM} \qquad (3.23.)$$

Rezultă că relația (3.20.) ne determină univoc săgeata la capătul liber al unei lamele termobimetalice încastrate la un capăt, de rezistentă R, de dimensiuni L şi δ, executată dintr-un material având curbura specifică a, în cazul parcurgerii ei de un curent I.

Tabelul 3.2. Calculul săgeții lamelei termobimetalice

Forma bimetalului	Săgeata la capătul liber
	$f = \frac{aL^2}{\delta}\Delta\theta$
	$f = \frac{aL^2}{4\delta}\Delta\theta$
	$f = \frac{aL^2}{2\delta}\Delta\theta$
	$f = \frac{a}{\delta}\left(d^2 - e^2 + 4r^2 + 2ed + 2\pi rd\right)\Delta\theta$
	$\alpha = \frac{a_1 L}{\delta}\Delta\theta$
	$f = \frac{2a\left(D^2 - d^2\right)}{9\delta}\Delta\theta$
	$f = \frac{a}{\delta}\left(y^2 - 2xy - x^2\right)\Delta\theta$
	$f = \frac{a}{\delta}\left[d^2 + 4r^2 + 2\pi rd - \left(e^2 - 2ex - x^2\right) + 2d(e - x)\right]\Delta\theta$

În mod similar, pentru alte forme ale lamelei termobimetalice, săgeata la capătul liber se poate calcula cu una din relațiile prezentate în tabelul 3.2.

Blocurile de relee termobimetalice sunt des folosite la protecția de suprasarcină a motoarelor electrice.

La noi în țară se fabrică gama de relee termice TSA 10-100 A care sunt destinate protecției motoarelor la suprasarcină.

Seria completă cuprinde relee având curenți de serviciu de la 0,4 la 100 A, caracterizate prin:

– protecția antibifazică pentru releele TSA 16, TSA 23, TSA 63 şi TSA 100

– compensarea temperaturii mediului ambiant pentru releele TSA 63, TSA 100 (între limitele 0…-50°C).

– posibilitate de trecere, după preferință, pe poziția „rearmare manuală“ sau „rearmare automată“

– posibilitate de utilizare la motoarele cu pornire grea.

Elementele componente ale unui releu termobimetalic:

– **carcasa şi capacul, din materiale izolante, cu rezistență termică ridicată; relee pe bază de bimetal; cursorul, având o construcție articulată, constituie dispozitivul de protecție antibifazică; contact săritor; buton de rearmare; buton de reglaj.**

Tabelul 3.3. **Caracteristicile tehnice ale releelor termice din gama TSA.**

Tip	Cod	In (A)	Puterea disipată pe o fază (W)	Curenții de serviciu (Is) (A)	Greutatea (Kg)	Secțiunea conductorului de racord (mm^2)		Dimensiunea şurubului bornei
						Min.	Max.	
TSA 10	3670	10	2,3	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11.	0,130	1	2,5	M 4
TSA 16	3671	16	2,3	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11; 16.	0,130	1	2,5	M 4
TSA 32	3672	32	6	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11; 15; 20; 25; 32.	0,225	4	6	M 5
TSA 63	3674	63	8	40; 60.	0,425	10	16	M 6
TSA 100	3647	100	8	80; 100.	0,425	16	25	M 6

Caracteristici tehnice:

– Tensiune nominală: 660 V c.a.

– Număr de poli: 3

– Frecvența de conectare: 15 conectări pe oră

– Domeniul de reglaj al releelor: (0,67-1) I_s

– Gradul de protecție: IP 000

– Contacte auxiliare:

– Tensiunea nominală: 500 V c.a.; 220 V c.c.

– Curentul nominal termic: 6 A, 10 A, 16 A, 63 A, 100 A,

Valorile caracteristice ale curenților la un bloc de relee termobimetalice sunt:

– curentul nominal I_n, este curentul maxim care circulă în regim de durata prin aparat şi pe baza căruia se dimensionează căile de curent;

– curentul de serviciu I_s, corespunde valorii maxime a curentului reglat pentru care aparatul nu acționează:

– curentul reglat I_{reg}, poate fi orice curent cuprins în scara de reglaj a aparatului, $I_{reg} = (0{,}6 \div 1)I_s$, domeniu în care utilizatorul trebuie să-şi încadreze curentul nominal al consumatorului.

Pentru a se produce acționarea, releul termobimetalic trebuie să fie parcurs de un curent mai mare decât cel reglat, numit curent de suprasarcină.

Conform normativelor naționale, relee termice româneşti de tip TSA trebuie să respecte condițiile prezentate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4. Normative referitoare la releele termice din gama TSA.

Curentul de suprasarcină ca multiplu al curentului reglat	Timpul de acționare	Stare inițială
$I=1.05 \cdot I_{reg}$	Să nu acționeze timp de 2h	Pornind din stare rece
$I=1.2 \cdot I_{reg}$	Să acționeze sub 2h	Pornind din stare caldă
$I=1{,}5 \cdot I_{reg}$	Să acționeze sub 2 min	Pornind din stare caldă

Prin stare rece se înțelege acea stare la care temperatura releelor este egală cu temperatura ambiantă: 20 ± 5^{o} C. Prin stare caldă se înțelege starea în care temperatura releelor este egală cu temperatura de durată corespunzătoare curentului reglat.

În funcție de temperatura la care lucrează un releu sunt necesare corecții ale curenților de serviciu.

Figura 3.26. Blocuri de relee termobimetalice

Pentru curenți între 25 A şi 250 A, blocurile de relee termobimetalice se alimentează prin transformatoare de curent toroidale (ca în figura 3.27).

În cazul lipsei unei faze, mecanismul de decuplare diferențial, asigură decuplarea rapidă. Conform standardelor, la sarcină de $1{,}15 \cdot I_n$ decuplarea se realizează în câteva minute).

Figura 3.27. Blocuri de relee termobimetalice alimentate prin transformatoare de curent.

Modul de revenire poate fi manual sau automat. Pentru revenirea rapidă se selectează comanda manuală a blocului de relee.

Pentru revenirea automată se aşteaptă răcirea lamelei termobimatalice asigurând şi răcirea motorului protejat.

3.2.4. Relee electromagnetice

Releele electromagnetice au ca element sensibil un electromagnet, ca element comparator un resort antagonist şi ca element executor unul sau două contacte (ND şi N.I). Când parametrul de intrare depăşeşte valoarea reglată, se învinge tensiunea resortului antagonist şi are loc acționarea instantanee a contactelor.

Releele electromagnetice pot fi **neutre,** (când acțiunea mecanismului electromagnetic este independentă de sensul solenației bobinei) sau **polarizate,** când acțiunea depinde de sensul solenației.

Pe principiul releelor electromagnetice se construiesc o gamă largă de relee de protecție fără temporizare sau cu temporizare, de tipul: de curent, de tensiune, intermediare, etc., frecvent utilizate în centrale şi stații electrice, precum şi în protecția la suprasarcini şi scurtcircuite a motoarelor electrice şi a consumatorilor industrial.

3.2.4.1. Relee electromagnetice maximale de curent

Sunt relee cu acţiune instantanee, destinate protecţiei instalaţiilor electrice împotriva suprasarcinilor sau scurtcircuitelor.

Elementul constructiv caracteristic al releului maximal de curent (RC) este **armătura mobilă de forma literei Z** şi se execută din tablă de oţel foarte subţire şi uşoară, pentru a micşora timpul de acţionare. Ea se saturează repede la valori mici ale curentului din înfăşurare, astfel ca factorul de revenire al releului creşte şi implicit şi sensibilitatea releului.

Curentul de supravegheat parcurge înfăşurările, ce pot fi legate în serie sau paralel, aflate pe miezul feromagnetic al electromagnetului. Dacă curentul depăşeşte valoarea reglată, fixată pe scara de reglaj, armătura se roteşte rapid, învingând tensiunea resortului antagonist şi închide contactele mobile peste cele fixe, lansând un semnal în circuitul comandat. Reglarea curentului de acţionare se face printr-o pârghie, schimbându-se tensionarea resortului antagonist. De asemenea prin legarea în serie sau paralel a înfăşurărilor se poate dubla domeniul de reglaj. Timpul de acţionare al acestor relee este de câteva sutimi de secundă (aproximativ 0.05 s) şi nu poate fi reglat; caracteristica de protecţie a releului este o caracteristică independentă.

Dacă valoarea curentului la care releul acţionează este I_a şi valoarea curentului la care releul revine este I_r, atunci factorul de revenire al acestor relee $K_r = I_r/I_a \geq 0{,}85$. Cu cât factorul de revenire este mai apropiat de unitate cu atât releul este mai sensibil.

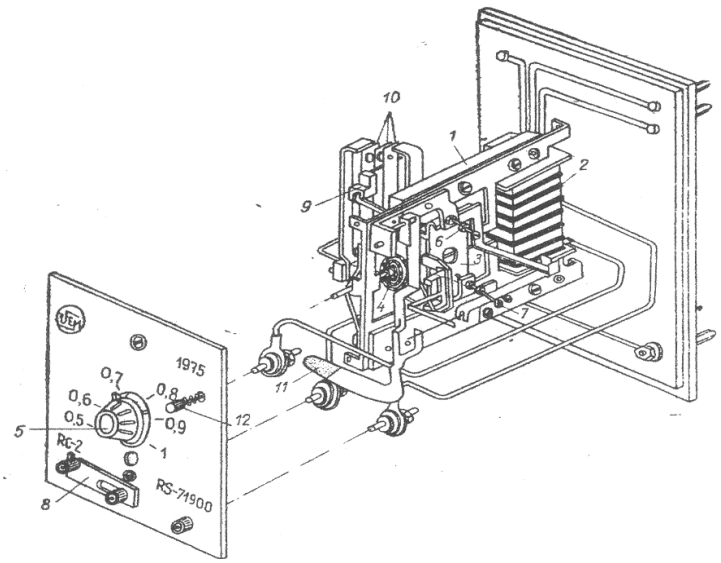


Figura 3.28. Releu electromagnetic maximal de curent RC2.

Părţile componente ale releului sunt:1 - miezul feromagnetic,2 - bobină, 3 - armătura mobilă, 4 - resort antagonist, 5 - buton de reglaj a arcului, 6,7 - şuruburi de reglaj care stabilesc poziţiile limită ale armăturii mobile. Schimbarea domeniului de reglaj se realizează prin comutatorul gamelor de reglaj 8 care modifică numărul de spire al bobinei releului. Braţul armăturii mobile acţionează prin intermediul piesei izolante 9, sistemul de contacte 10. Indicatorul de funcţionare 11 poate fi anulat de anulatorul 12.

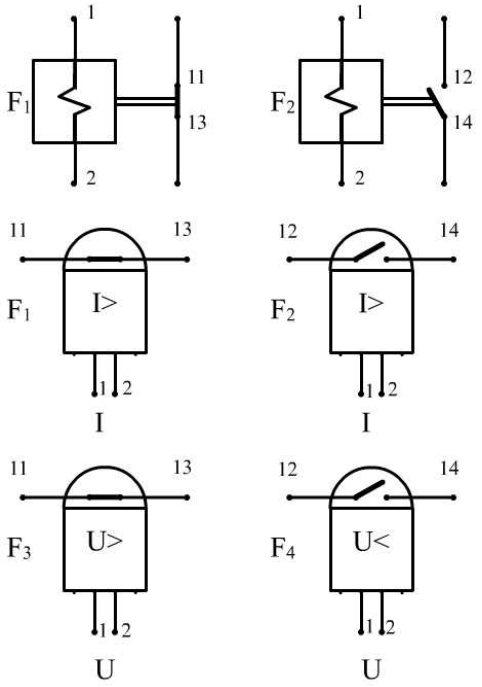


Figura 3.29. Reprezentarea în schemele electrice a releelor maximale de curent, maximale de tensiune şi minimale de tensiune.

3.2.4.2. Relee electromagnetice de tensiune

Aceste relee pot funcţiona ca relee maximale de tensiune (RT-1) sau ca relee minimale de tensiune (RT-2) şi au aceeaşi formă constructivă ca şi releele de curent RC (figura 3.28.) cu deosebirea că înfăşurarea lor este formată dintr-un număr mare de spire subţiri şi se leagă în paralel cu instalaţia de protejat.

Releele maximale de tensiune acţionează prin atragerea armăturii mobile dacă tensiunea depăşeşte valoarea reglată, pe când releele minimale de tensiune acţionează prin eliberarea armăturii mobile dacă tensiunea scade sub valoarea reglată, sau la dispariţia tensiunii.

De aceea releele maximale de tensiune au contactul normal deschis şi se reprezintă în schemele electrice ca în figura 3.29. iar releele minimale de tensiune au contactul normal închis. Factorul de revenire $K_r = U_r/U_a$ este subunitar la releele maximale ($K_r \geq 0,85$) şi supraunitar ($K_r \leq 1,15$) la releele

minimale de tensiune.

Releele electromagnetice de protecţie sunt mai frecvent folosite la protecţia motoarelor electrice, deoarece scăderea tensiunii determină creşterea curentului absorbit. De asemenea, se utilizează la numeroase scheme de automatizări din sistemul energetic (DASU, AAR, etc.).

3.2.5. Relee de inducţie

Releele de inducţie Ferraris sau wattmetrice cum li se mai spune sunt foarte răspândite în instalaţiile de producţie, în special ca elemente de bază a protecţiilor maximale de curent cu caracteristică dependentă şi ale protecţiilor direcţionale; ele se folosesc de asemenea şi în protecţiile de distanţă.

Funcţionarea releelor de inducţie se bazează pe acţiunea reciprocă dintre fluxurile magnetice variabile în timp create de mărimile electrice aplicate releului şi curenţii induşi de acesta în elementul mobil al acestuia (discul sau rotorul cilindric).Rezultă că ele pot fi folosite numai în curent alternative.

Ca şi contoarele electrice, pentru realizarea cuplului de rotaţie M_{rot}, releele de inducţie folosesc cel puţin două fluxuri magnetice alternative, decalate în spaţiu şi defazate în timp. Curenţii turbionari induşi în sistemul mobil creează împreună cu fluxurile, cuplurile de rotaţie necesare acestuia.

Se deosebesc două tipuri de relee de inducţie:

– releu de inducţie cu rotor disc (cu o singură înfăşurare)

– releu cu rotor cilindric care se mai numeşte şi cu circuit profilat (cu două înfăşurări).

3.2.5.1. Relee de inducţie cu rotor disc

Releele de inducţie cu rotor disc sunt utilizate în cazul când este necesar ca mişcarea rotorului să fie în funcţie de o singură mărime electrică (curentul sau tensiunea). Deoarece însă nu se poate produce mişcare cu un singur flux, se recurge la introducerea unei spire în scurtcircuit pe o porţiune a miezului de la marginea întrefierului. Astfel se obţine un al doilea flux, decalat faţă de primul în spaţiu şi defazat în timp, realizându-se un cuplu.

După cum se observă în figura 3.30 fluxul magnetic principal Φ străbate circuitul magnetic 2 şi se împarte în două fluxuri Φ_1 şi Φ_2 în apropierea întrefierului. Aceste două fluxuri sunt decalate în spaţiu şi defazate în timp cu un unghi φ (figura 3.31.) cu ajutorul spirei de cupru în scurtcircuit 3. Un disc de aluminiu 4 se poate roti o dată cu axul 5 în întrefierul circuitului magnetic 2.

Tensiunile electromotoare E_1 şi E_2, produse respective de fluxurile

magnetice Φ_1 respectiv Φ_2, nu depind de starea de mişcare sau de repaus a discului. Ele sunt defazate cu 90° în urmă faţă de fluxurile Φ_1 respectiv Φ_2, şi dau naştere în disc curenţilor turbionari I_1 şi I_2. Liniile de curent incluse de un flux, trec parţial şi prin porţiunea de disc din dreptul axei celuilalt flux.

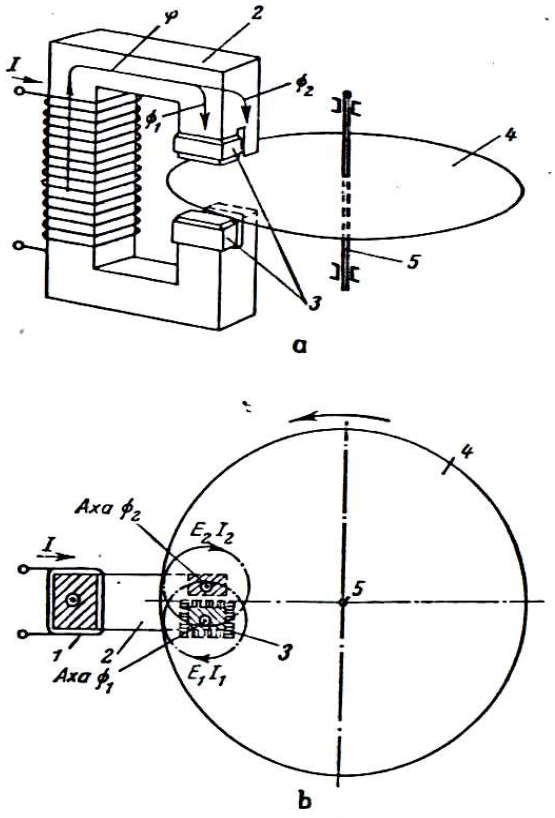


Figura 3.30. Releu de inducţie cu rotor disc.

Porţiunile de disc din dreptul axelor fluxurilor vor fi supuse prin urmare unor forţe exercitate de câmpurile magnetice. Dacă rezultanta sau momentul acestor forţe sunt diferite de zero, discul se pune în mişcare. Este de observat că mişcarea este datorită acţiunii dintre un flux (de exemplu Φ_1 şi curentul Indus de celălalt flux I_2), deoarece forţele exercitate de curenţii induşi proprii au o rezultantă nulă. Faza acestor curenţi este aceeaşi cu a tensiunilor electromotoare care i-au creat, întrucât rezistenţa discului este de câteva ori mai mare decât reactanţa.

Cuplul de rotaţie al unui aparat de inducţie se determină, după cum se ştie, cu formula:

$$M_{rot}=k_1 \cdot f \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin\varphi \qquad (3.24.)$$

Unde k - coeficient de proporţionalitate

f - frecvența curentului alternativ

Φ - valori eficace ale fluxurilor magnetice

φ - unghi de defazaj dintre fluxuri

Deoarece la releul examinat fluxurile Φ_1 şi Φ_2 sunt proporționale cu curentul I (până la saturația miezului), cuplu de rotație se poate scrie sub forma:

$$M_{rot}=k_2 \cdot f \cdot I^2 \cdot \sin\varphi \qquad (3.25.)$$

Pentru un anumit releu, mărimile f şi φ sunt constante, deci:

$$M_{rot}=k \cdot I^2 \qquad (3.26.)$$

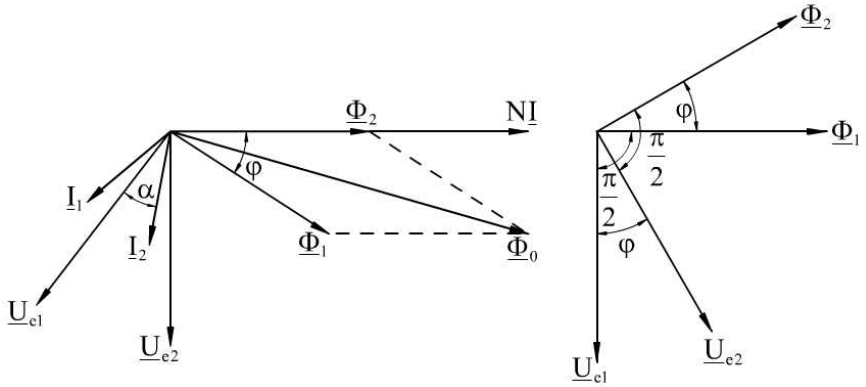


Figura 3.31. Diagrama fluxurilor la releul de inducție cu rotor disc.

Sub acțiunea cuplului M_{rot}, discul releului tinde să se rotească, însă este frânat de cuplu antagonist M_{ant} creat de un magnet de frânare şi de un resort. În cazul în care $M_{rot}>M_{ant}$ discul se roteşte şi după un anumit timp, atinge cu contactul mobil (montat pe axul sau) contactul fix, deci releul acționează.

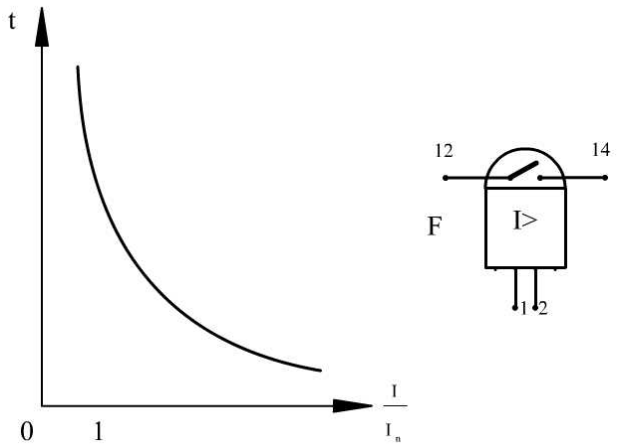


Figura 3.32. Caracteristica temporală de protecție a releului maximal de curent şi reprezentarea releului în schemele electrice.

Rezultă că relee maximale de curent realizate cu relee de inducție cu rotor disc au o caracteristică dependentă.

Prin combinarea releelor de inducție cu releele electromagnetice se obțin relee cu caracteristică temporală limitat dependentă.

Partea caracteristicii între limitele căreia temporizarea depinde de curent se numeşte parte dependentă, iar cea între limitele căreia temporizarea nu depinde de curent se numeşte parte independentă (Figura 3.33.).

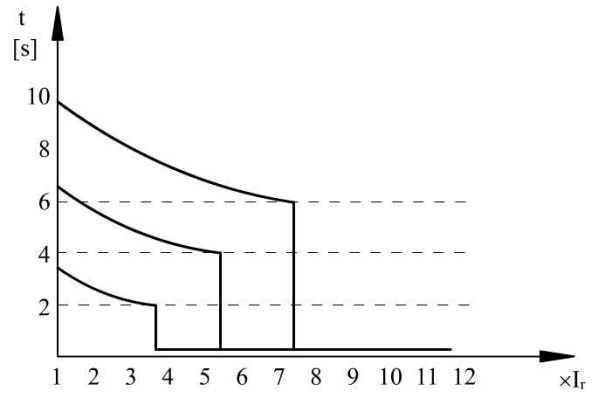


Figura 3.33. Caracteristica de protecție limitat dependentă a unui releu

Curba 1, corespunde reglării timpului la o valoare prestabilită şi a curentului limitat (de acționare instantanee) la $I_l=8\cdot I_r$;

Curba 2 corespunde unui reglaj $t_r=4s$ şi $I_l=6\cdot I_r$;

Curba 3 corespunde la un reglaj $t_r=2s$ şi $I_l=4\cdot I_r$.

Se obține în acest fel o caracteristică de protecție temporală mixtă (limitat dependentă).

Astfel dec relee sunt releele RTp-C. Dintre avantajele folosirii releelor de tip TRp-C cel mai important este faptul că releul permite tăierea de curent fără relee suplimentare.

Releul se roteşte şi în regim normal de funcționare permite să se controleze permanent starea releului (în acest scop pe capacul carcasei releului, în fața discului există o fereastră cu geam) şi a circuitului de curent. De asemenea nu acționează la variații scurte de sarcină. Deoarece viteza de rotație a discului este dependentă de valoarea curentului, releul poate indica calitativ sarcina liniei pe care este montat, fapt pentru care este denumit uneori şi releu ampermetric.

Aderarea bună a contactelor normal deschise nu depinde de valoarea curentului de defect care circulă prin înfăşurarea releului.

Coeficientul de revenire al sistemului de inducție este relativ bun

k_r =0,75…0,85

Folosirea releelor de inducţie de tip RTp-C are şi unele dezavantaje, comparativ cu alte tipuri de relee de protecţie:

– Sistemul mecanic destul de complicat face ca precizia să fie redusă.

– Coeficientul de revenire al sistemului electromagnetic este mai mic (k_r = 0,4).

– Eroarea în ceea ce priveşte curentul de acţionare al tăierii este mare.

– Consumul de putere este relative mare (circa 30VA)

3.2.5.2. Relee de inducţie cu rotor cilindric

La releele de inducţie cu rotor cilindric, mişcarea rotorului se face sub acţiunea a două mărimi electrice. În această construcţie ele se folosesc ca relee direcţionale, de distanţă şi altele. În cazul în care releele acţionează la schimbarea sensului puterii, se numesc direcţionale; cele care măsoară impedanţa sau reactanţa liniei până la locul defectului, deci mărimi proporţionale cu distanţa până la defect, se numesc relee de distanţă.

Releele direcţionale bazate pe principiul inducţiei se execută cu disc, cu rotor cilindric sau cu cadru mobil.

În ultimul timp, date fiind condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească protecţia, în special rapiditatea de acţionare, s-au adoptat construcţiile cu rotor cilindric şi cu cadru mobil, care permit să se realizeze relee cu timp de acţionare de ordinal a 0,01 s.

O variantă constructivă de releu direcţional realizat pe baza releului de inducţie cu circuit profilat (denumit şi releu cu rotor cilindric sau releu de inducţie cu două înfăşurări) este prezentat în figura 3.34.

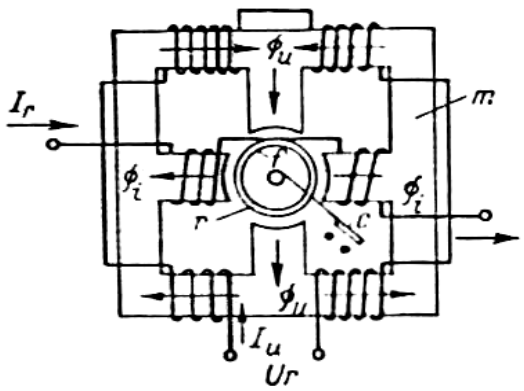


Figura 3.34. Schema de principiu a unui releu de inducţie cu rotor cilindric.

În principiu releul este format dintr-un circuit magnetic m cu poli apa-

renți, un rotor cilindric de aluminiu r, înfăşurările de curent şi tensiune pe circuitul magnetic şi un contact normal deschis. Contactul mobil este fixat pe axul cilindrului de aluminiu. În interiorul cilindrului de aluminiu se găseşte un alt cilindru, de fier, f, care serveşte la reducerea reluctanței circuitului magnetic total; Un magnet permanent, care cuprinde între polii săi cilindrul de aluminiu, serveşte la amortizarea mişcărilor rotorului, iar un resort menține contactele deschise

După cum ştim, funcționarea releelor de inducție se bazează pe acțiunea reciprocă dintre fluxurile magnetice variabile în timp şi curenții induşi de acestea în elementul mobil al releului. Cuplul de rotație al unui releu de inducție se determină cu relația generală 3.24..

Înfăşurarea de curent este formată din două bobine legate în serie şi aşezate pe doi poli, iar înfăşurarea de tensiune din patru bobine legate tot in serie şi aşezate pe circuitul magnetic exterior. din circuitul secundar al transformatoarelor de tensiune.

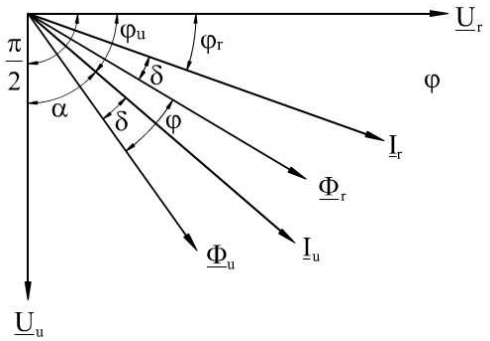


Figura 3.35. Diagrama fazorială a mărimilor electrice şi magnetice ale releului de inducție cu rotor cilindric.

Prin înfăşurarea de curent circulă curentul I_r, din circuitul secundar al transformatoarelor de curent, iar înfăşurării de tensiune I se aplică tensiunea U_r Datorită tensiunii aplicate U_r prin înfăşurarea de tensiune circulă curentul I_u. Curenții I_r şi I_u dau naştere fluxurilor Φ_i şi Φ_u 90° ca în figura 3.35.

Până la saturația circuitului magnetic, se poate considera că fluxul Φ_i este proporțional cu curentul Ir, iar fluxul Φ_u cu curentul Iu adică:

$$\Phi_i = k_2 \cdot I_r \qquad (3.27.)$$

$$\Phi_u = k_3 \cdot I_u = k_3 \frac{U_r}{Z_{u=}} = k_3 U_r \qquad (3.28.)$$

Unde: Z_u - impedanța înfăşurării de tensiune

k_2,k_3.k_4 - coeficienți de proporționalitate

Înlocuind în relația (3.28.) valorile fluxurilor de mai sus şi considerând

frecvența constantă, rezultă cuplul releului:

$$M_{rot} = k \cdot I_r \cdot U_r \cdot \sin\varphi \qquad (3.29)$$

Diagrama fazorială a releului este reprezentată în figura 3.35. Ea a fost construită luându-se ca mărimi inițiale tensiunea U_r, curentul I_r şi unghiul de defazaj dintre ele φ_r.

Curentul I_u este defazat față de U_r cu unghiul γ_u, determinat de raportul dintre reactanță şi rezistența înfăşurării de tensiune.

Fluxurile Φ_i si Φ_u sunt defazate față de curenții I_r, respectiv I_u, cu unghiul δ determinate de pierderile în fier ale circuitului magnetic. S-au obținut astfel două fluxuri decalate în spațiu cu 90° şi defazate în spațiu cu unghiul φ .

În diagrama fazorială din figura 3.36. s-a notat cu γ_u defazajul dintre I_u si U_r şi cu α complementul lui γ_u (unghi de defazaj interior).
Rezultă:

$$\varphi = \gamma_u - \varphi_r \qquad (3.30)$$

Ținând seama de aceste notații, cuplul de rotație al releului devine

$$M_{rot} = k \cdot I_r \cdot U_r \cdot \sin\varphi = k \cdot I_r \cdot U_r \cdot \cos(\varphi_r + \alpha) \qquad (3.31)$$

Se observă că cuplul de rotație al releului, la valori constante ale mărimilor I_u şi U_r este maxim când $\varphi_r + \alpha = 0$. În funcție de unghiul de defazaj φ_r, cuplul de rotație poate fi pozitiv sau negativ, deci rotorul se roteşte într-un sens sau în sens opus.

La punerea în funcție a protecției care foloseşte astfel de relee se determină prin schema de conectare a acestora, sensul în care se roteşte rotorul pentru nu anumit sens al puterii.

Pentru pornirea releului, cuplul de rotație trebuie să fie mai mare decât cuplul antagonist, creat de resort şi de frecarea părților mobile.

Cuplul de pornire este definit prin expresia:

$$M_{r\cdot p} = k\left(U_r \cdot I_r\right)_{p\cdot r} \cos\left(\varphi_r + \alpha\right) = M_{ant} \qquad (3.32.)$$

Notând $\left(U_r \cdot I_r\right)_{p\cdot r}$ cu $S_{p\cdot r}$, care se mai numeşte şi putere de pornire, obținem relația:

$$S_{p\cdot r} = \left(U_r \cdot I_r\right)_{p\cdot r} = \frac{M_{ant}}{k\cos\left(\varphi_r + \alpha\right)}\left[VA\right] \qquad (3.33.)$$

Sensibilitatea releului direcțional se caracterizează, de obicei prin valoarea minimă a puterii de pornire $S_{pr_{min}}$ corespunzătoare unghiului $\varphi_r = -\alpha$, pentru care $\cos(\varphi_r + \alpha) = 1$; unghiul $\varphi_r = -\alpha$ se numeşte unghiul sensibilității maxime.

Puterea de pornire maximă este:

$$S_{p.r_{min}} = \frac{M_{ant}}{k} \qquad (3.34.)$$

Puterea de pornire a releului direcțional depinde de unghiul sensibilității maxime şi de curentul care circulă prin înfăşurarea de curent.

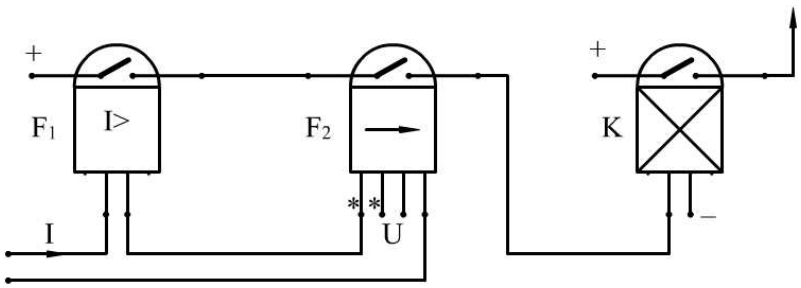


Figura 3.36. Reprezentarea în schemele electrice a releului direcțional F2. F1-releu maximal de curent, K- releu intermediar.

Releele direcționale au timpi foarte scurți de acționare aproximativ 0,04 s la o putere de pornire de cinci ori mai mare decât cea nominală.

La protecția liniilor electrice se urmăreşte deconectarea cu atât mai rapidă cu cât curentul de scurtcircuit este mai mare.

Una din soluțiile găsite este cea a folosirii protecției maximale de curent cu caracteristică dependentă realizată cu ajutorul releelor de inducție.

În prezent protecția maximală de curent şi direcțională se realizează ca parte a protecțiilor integrate a liniilor electrice.

3.2.6. Relee Buchholz

Releul de gaze este cunoscut şi sub denumirea de releu "Buchholz" şi constituie principalul element de protecție al transformatoarelor împotriva defectelor interne. Funcționarea releului se bazează pe faptul că orice defecțiune internă (de exemplu: slăbirea izolației principale, slăbirea izolației dintre spire, defectarea miezului sau contacte imperfecte), constituie premize pentru încălzirea suplimentară a uleiului de transformator. Temperatura ridicată, va conduce la descompunerea uleiului şi apariția de gaze.

Releul Buchholz este montat pe conducta de legătură dintre cuva transformatorului şi conservatorul de ulei (figura 3.38) şi este format din două plutitoare ce au ataşate câte un microîntrerupător cu mercur şi care se pot roti în jurul axelor lor. În regim normal de funcționare releul este plin cu ulei şi plutitoarele sunt în poziția superioară. Plutitorul superior acționează la defecte mai puțin grave prin semnalizare optică şi acustică, prin închiderea contactelor.

La producerea unor scurtcircuite interioare, se produce vaporizarea uleiului, gazele adunându-se în partea superioară a releului provocând coborârea plutitorului inferior care provoacă declanşarea transformatorului şi semnalizarea declanşării. Plutitorul inferior este prevăzut cu o clapetă de şoc care produce bascularea instantanee a plutitorului sub acțiunea undei de presiune ce însoțeşte scurtcircuitele violente.

Figura 3.37. Releu Buchholz

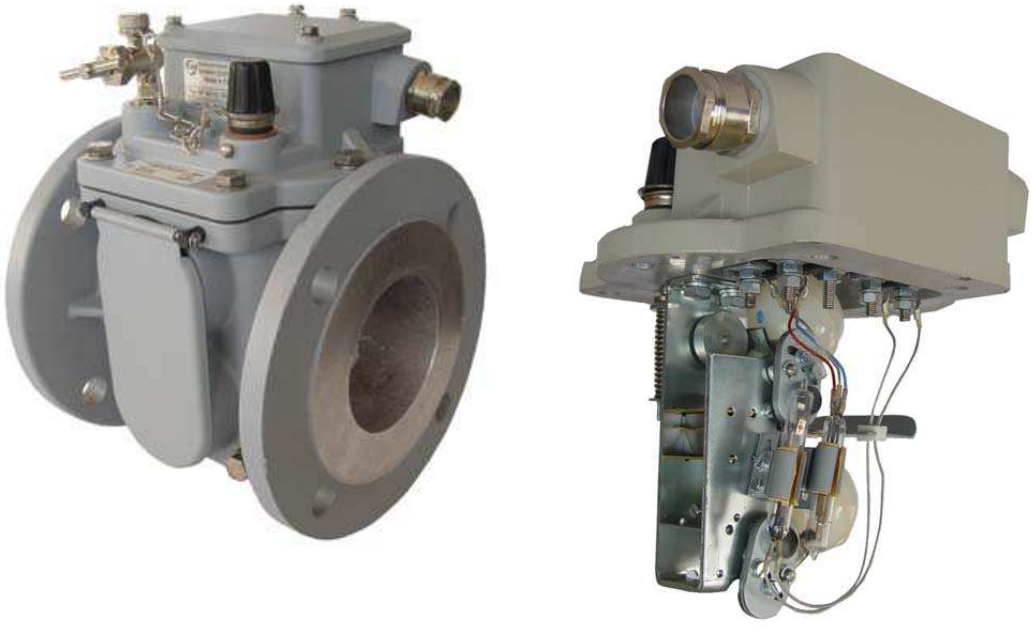


Figura 3.38. Secțiune prin releul Buchholz

Există şi alte tipuri de relee de gaze, cum ar fi:

– relee de gaze cu flotoare şi posibilitatea reglării sensibilității echipajului de declanşare, printr-un magnet mobil;

– relee de gaze cu flotoare deplasabile pe un ghidaj prevăzut cu întreruptoare cu acționare magnetică (produs de firma ABB);

– relee de gaze cu cupă şi contacte necapsulate;

– relee de gaze tranzistorizate.

Schema electrică a protecției de gaze prezentate în figura 3.39. cuprinde releul de gaze F_1, releul de semnalizare a declanşării K_2, releul intermediar cu temporizare la deschidere K_2, releul intermediar K_4 cu rol de acționare a întrerupătoarelor Q_1 şi Q_2 şi dispozitivul de deconectare S_1 care permite funcționarea schemei doar pentru partea de semnalizare. La apariția de gaze în cuva transformatorului, prin ridicarea lor spre conservator se adună în partea superioară a releului gaze provocând coborârea plutitorului p_1 ceea ce conduce la închiderea contactului superior al releului K_1 ce are rol de semnalizare a producerii unei avarii.

Dacă defectul persistă sau este un scurtcircuit violent, se închide contactul inferior al releului F_1, comandând prin releul intermediar K_3 declanşarea instantanee a întrerupătoarelor din primarul şi secundarul transformatorului şi în acelaşi timp prin releul de semnalizare serie K_1, semnalizează declanşarea.

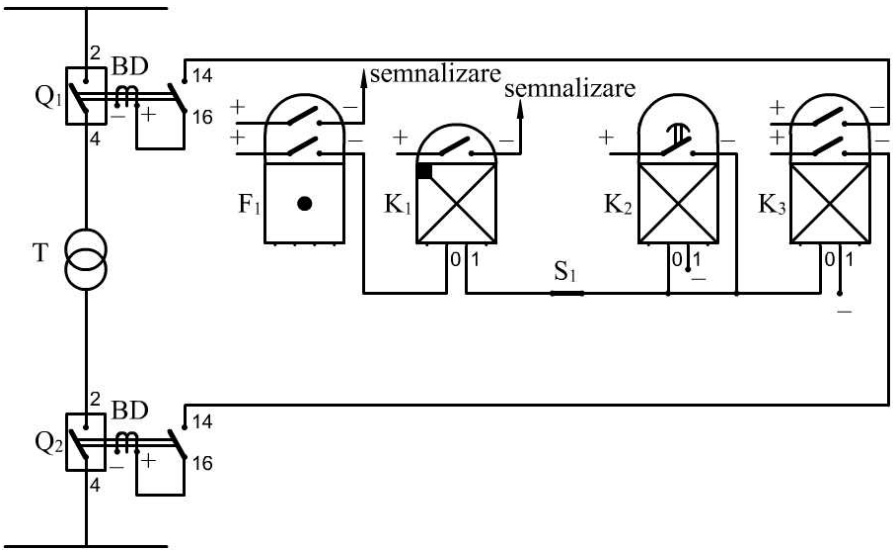


Figura 3.39. Schema electrică a protecției de gaze cu releu Buchholz.

Deoarece impulsul dat de contactul inferior al releului Buchholz poate fi de scurtă durată, schema trebuie să permită prelungirea acestui impuls până

la declanşarea întrerupătoarelor, fapt asigurat de contactul cu temporizare la deschidere al releului intermediar K_2.

Dispozitivul de deconectare S permite funcţionarea schemei doar pe semnalizare. Această operaţie se efectuează în mod normal după umplerea transformatorului cu ulei după o revizie.

Protecţia cu relee de gaze este folosită contra defectelor interne şi poate fi aplicată numai la transformatoare în ulei şi cu conservator pe ulei, ea acţionând numai în cazul defectelor din interiorul cuvei. Arcul electric sau căldura dezvoltată de scurtcircuitul din interiorul cuvei au ca urmare descompunerea uleiului şi a materialelor organice ale pieselor izolate şi formarea de gaze. Acestea fiind mai uşoare ca uleiul se ridică spre conservator. Releul Buchholz sesizează formarea gazelor sau a curentului de ulei. Aceste relee se montează între cuvă şi conservator.

La instalarea transformatoarelor, cuva acestuia trebuie înclinată cu 1-1,5% prin introducerea unor pene, astfel încât conducta spre conservator să aibă o pantă de 2÷4 % pentru a se uşura eventuala trecere a gazelor sau uleiului către conservator.

La noi în ţară se construiesc releele de gaze RB1 şi RB2 cu 1 sau 2 flotoare. RB1 este folosit pentru semnalizare. Conform normativelor, RB1 este prevăzut pentru a fi instalat la transformatoare cu puteri până la 1000 KVA iar RB2 la transformatoarele cu puteri peste 1000 KVA.

Sensibilitatea releelor de gaze la acţiunea jetului de gaze şi ulei se reglează în mod obişnuit prin variaţia suprafeţei active a paletei echipajului mobil inferior.

Transformatoarele şi autotransformatoarele mari, constituite din elemente monofazate, sunt prevăzute cu relee de gaze şi de semnalizare la fiecare cuvă, impulsurile de dec1anşare fiind aduse la un acelaşi releu intermediar.

Principalele avantaje ale folosirii protecţiei de gaze sunt:

– simplitate constructivă şi fiabilitate ridicată;

– sensibilitate mare (cea mai sensibilă dintre protecţii la scurtcircuitele între spire);

– rapiditate în declanşare (comanda semnalizarea sau declanşarea au loc în funcţie de caracterul defectului);

– acţionează practic la toate defectele din interiorul cuvei;

Dintre dezavantajele utilizării acestei protecţii amintim:

– aerul care este introdus în cuvă odată cu uleiul se ridică în cazul creşterii temperaturii acesteia spre conservator şi trecând prin releu poate determina acţionarea lui. Pentru a se evita acest neajuns, primele trei zile după repunerea în funcţiune a transformatorului, protecţia este comutată pe semnalizare;

– posibilitatea acționării releului de către fluxul de ulei care se formează în transformator în urma unor scurtcircuite exterioare violente sau în urma pornirii şi opririi pompelor din circuitul de ulei al transformatorului cu răcire în circuit închis. Pentru a se evita acest neajuns, se micşorează sensibilitatea elementului de declanşare prin reglarea poziției paletei acestuia;

– protecția nu acționează la defectele transformatorului produse în afara cuvei lui (de exemplu la borne) şi pe conductoarele de legătură a transformatoarelor cu întrerupătoarele. De aceea protecția nu poate fi utilizată ca protecție unică contra scurtcircuitelor interioare din transformator.

3.3. DECLANŞATOARE.

Declanşatoarele sunt aparate de protecție, care sub acțiunea unei mărimi electrice de intrare, acționează printr-un impuls mecanic asupra zăvorului întrerupătoarelor automate, provocând dezăvorârea acestora.

Declanşatoarele pot fi directe:

– când curentul declanşatoarele sunt parcurse chiar de mărimea electrică supravegheată (circuitul de forță parcurge bobina declanşatorului în cazul declanşatoarelor de curent iar bobina se leagă direct la rețeaua de supravegheat (la declanşatoarele de tensiune);

– indirecte, când bobina lor se alimentează prin intermediul traductoarelor (transformatoarelor de curent sau tensiune).

După mărimea supravegheată declanşatoarele se clasifică în:

a) declanşatoare maximale de curent, care pot fi cu acțiune instantanee, cu acțiune temporizată dependentă de curent sau cu acțiune temporizată independentă de curent;

b) declanşatoare de tensiune, care pot fi declanşatoare minimale de tensiune, declanşatoare maximale de tensiune sau declanşatoare de tensiune nulă.

Majoritatea întrerupătoarelor sunt prevăzute cu declanşatoare minimale de tensiune, care trebuie puse inițial sub tensiune pentru a permite acționarea întrerupătorului şi în a cărui circuit de alimentare se află înseriat butonul de oprire manuală a întrerupătorului.

Declanşatoarele maximale de curent cu acțiune temporizată dependentă de curent sunt formate din lamele termobimetalice, care se curbează în timp (cu o viteză ce depinde de intensitatea supracurentului) şi capătul lor liber acționează asupra zăvorului întrerupătorului.

Declanşatoarele maximale de curent cu acțiune instantanee sunt de tip electromagnetic, având acelaşi principiu de funcționare ca şi al releelor electromagnetice maximale de curent, cu deosebirea că semnalul de ieşire este un semnal mecanic ce acționează asupra zăvorului întrerupătorului.

Principiul de funcţionare a declanşatoarelor este similar cu al releelor electrice de protecţie echivalente cu deosebirea că mărimea de ieşire a declanşatorului este de natură mecanică (forţa de dezăvorâre).

În multe cazuri se folosesc declanşatoare combinate, electromagnetice şi termice. Declanşatoarele maximale de curent combinate cu acţiune temporizată dependentă de curent, pot acţiona temporizat în cazul suprasarcinilor şi instantaneu dacă curentul depăşeşte valoarea reglată.

Declanşatoarele maximale de curent care necesită o caracteristică temporizată dar nu dependentă de curent folosesc micromotoare sincrone pentru a realiza temporizarea în regim de suprasarcină.

Declanşatoarele de tensiune sunt electromagnetice. Ele au ca element motor un electromagnet monofazat de tip clapetă.

După funcţia îndeplinită în circuit ele sunt de două feluri:

– declanşatoare minimale de tensiune;

– declanşatoare maximale de tensiune.

Declanşatorul din figura 3.40. funcţionează ca declanşator de tensiune nulă sau minimal de tensiune în funcţie de reglarea resortului antagonist 6.

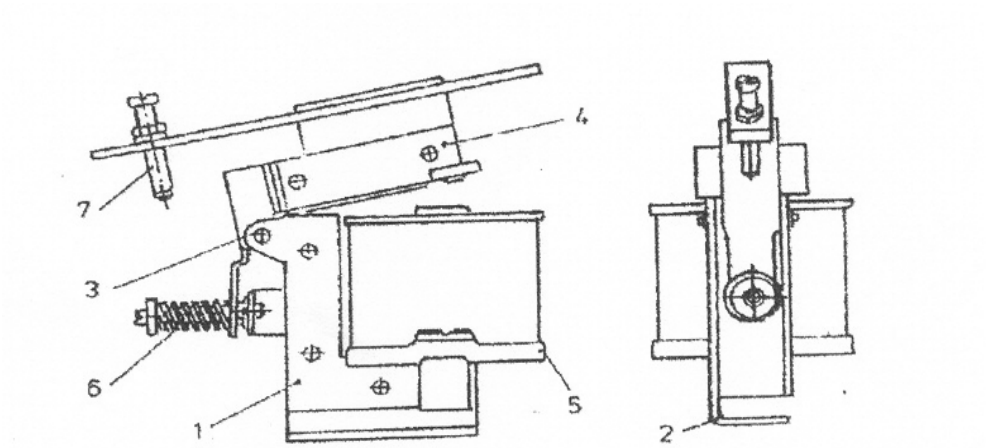


Figura 3.40. Declanşator de tensiune electromagnetic.
1-armătura fixă, 2-suport declanşator, 3-ax, 4-armătura mobilă, 5-bobina electromagnetului, 6-resort antagonist, 7-perecutor.

În regim normal de funcţionare armătura mobilă 4 este atrasă. La scăderea tensiunii, sub acţiunea resortului antagonist 6, armătura mobilă este eliberată şi acţionează prin percutorul 7 asupra zăvorului întrerupătorului, declanşându-l.

Figura 3.41. Variantă constructivă de declanşator de tensiune

Există şi declanşatoare electronice care sunt alcătuite din relee electronice ce acționează prin intermediul unor relee intermediare cu rol de element executor al declanşatorului.

3.4. DESCĂRCĂTOARE

Descărcătoarele sunt aparate de protecție care pe lângă funcția principală de limitare a supratensiunilor sunt capabile să reducă curentul de însoțire la valori pentru care spațiul disruptiv devine izolant, fiind prevăzute cu dispozitive speciale de stingere a arcului electric, imediat ce tensiunea a revenit la valori nepericuloase pentru instalație .

Rolul funcțional al descărcătorului electric este de a limita supratensiunile atmosferice şi de comutație într-o instalație electrică. Descărcătorul se montează la intrarea în stațiile electrice între fază şi pământ şi în punctele în care linia îşi modifică impedanța caracteristică.

Pentru protecția la supratensiuni atmosferice a liniilor electrice se folosesc pe lângă descărcătoare şi eclatoare care sunt mai simple constructiv (şi deci mai ieftine) dar nu conțin elemente de stingere a arcului electric şi deci utilizarea lor este posibilă doar alternant cu descărcătoare.

3.4.1. Eclatoare electrice

Eclatoarele sunt cele mai simple aparate de protecție împotriva supratensiunilor. Ele se compun din 2 electrozi metalici, unul legat la partea aflată sub tensiune şi celălalt la pământ, uneori cu posibilitatea reglării intervalului disruptiv. Eclatoarele se folosesc la protecția izolatoarelor de porțelan pentru a evita conturarea lor şi se pot realiza sub forma eclatoarelor cu coloane, eclatoare cu tijă şi cu inele de protecție.

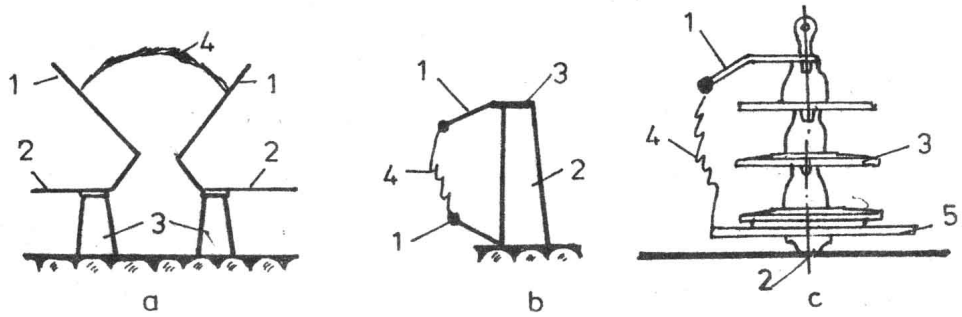


Figura 3.42. Variante constructive de eclatoare.
a) Eclator cu coarne, b) Eclatoare cu tijă de descărcare,
c) Eclatoare cu inele de protecție.

Eclatoarele sunt elemente componente ale descărcătoarelor constituind spațiul disruptiv al acestora şi asigurând separarea părții sub tensiune de cea legată la potențialul pământului. Stingerea arcului electric datorită curentului de însoțire i_S este naturală, prin alungire, datorită interacțiunii curentului din arcul electric cu propriul câmp magnetic.

Eclatoarele, având o amorsare întârziată, unda de tensiune poate pătrunde în instalație înainte ca eclatorul să intervină. Din această cauză eclatoarele au o răspândire limitată în rețelele de medie tensiune, mai ales pentru protecția posturilor de transformare şi în tracțiunea electrică în curent continuu.

De asemenea eclatoarele au neajunsul că provoacă scurtcircuite cu punere la pământ, nefind capabile să întrerupă curentul de însoțire. Acest lucru provoacă scoaterea de sub tensiune a instalației şi taie unda de impuls a supratensiunii, producând şi solicitări dielectrice suplimentare.

3.4.2 Principiul de funcționare al descărcătoarelor electrice

Principalele elemente constructive ale unui descărcător sunt prezentate în figura 3.43.

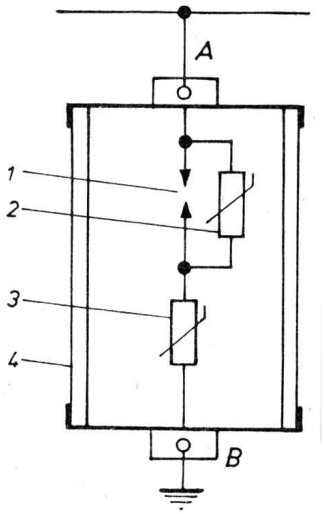


Figura 3.43. Principiul de funcționare a unui descărcător cu rezistență variabilă
1-coloana de eclatoare; 2- rezistența neliniară cu rol de divizor de tensiune;
3- rezistența neliniară principală; A,B- bornele aparatului.

Coloana de eclatoare, a căror număr depinde de tensiunea nominală a rețelei. Pentru rețelele de joasă tensiune descărcătorul are un singur eclator.

Rezistențele neliniare, care asigură repartizarea tensiunii în mod uniform pe spațiile disruptive.

Rezistența neliniară principală, formată din înserierea mai multor discuri realizate din carbură de Si sau oxid metalic (ZnO 90%; Bi_2O_3 ; CoO).

Anvelopa din porțelan, care conține 1, 2, 3.

3.4.3. Variante constructive de descărcătoare

Variantele constructive de descărcătoare depind de tensiunea nominală şi de felul rețelei. Pentru rețelele de joasă tensiune (U_n<1000 V) descărcătorul are un singur eclator.

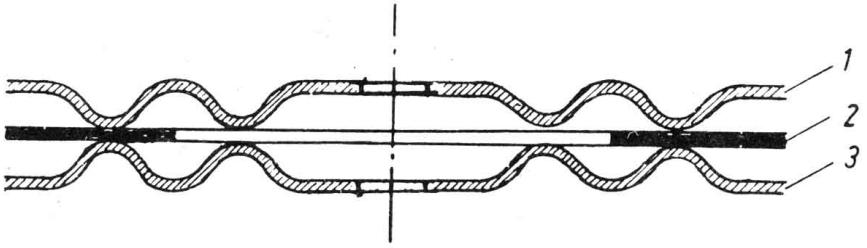


Figura 3.44. Eclatorul unui descărcător de joasă tensiune.

1,3-electrozi de Am; 2-şaibă izolantă pe bază de mică.

Pentru rețelele de medie tensiune (1÷35 kV) eclatorul este înglobat în rezistența neliniară, care funcționează ca un divizor de tensiune, asigurând o repartizare egală a tensiunii pe intervalele disruptive. În regim normal de funcționare, la tensiunea nominală, în absența unei supratensiuni, datorită repartiției neuniforme a intensității câmpului electric se realizează o stare de preionizare în zone imediat apropiate intervalelor disruptive.

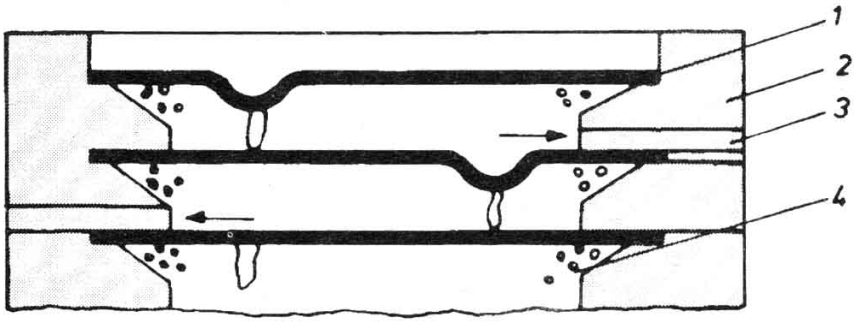


Figura 3.45. Eclator cu rezistențe de uniformizare pentru un descărcător de medie tensiune.
1- electrod; 2-rezistență neliniară; 3-canal de expandare; 4-spațiu preionizat.

Pentru tensiuni înalte şi foarte înalte descărcătorul e construit din module conectate în serie ca cel prezentat în figura 3.45. Modulul din figură este folosit la 8…10 kV şi este prevăzut cu suflaj magnetic. Un asemenea modul cuprinde mai multe eclatoare de amorsare şi stingere E_{as}, conectate în serie cu subansamblul format din bobina de suflaj L şi rezistența neliniară R_1 şi cu rezistența neliniară principală R_2. Fiecare modul e şuntat de rezistența neliniară R_3, care asigură repartizarea uniformă a tensiunii pe module.

La tensiuni nominale $U_n \geq 245$ kV fiecare modul este prevăzut şi cu condensatori de capacitate $C \approx 50….100$ pF, pentru a asigura o repartiție încă mai uniformă pe module.

În principiu, prin construcție este necesar să se asigure repartizarea uniformă a tensiunii pe eclatoarele unui modul şi scoaterea de sub influența diferitelor cuplaje capacitive, a coloanei eclatoarelor în interiorul unui tub, care reprezintă rezistențe.

Funcționarea descărcătorului se poate înțelege din figura 3.46. în care este prezentată schema electrică şi principiul de funcționare.

În absența unei supratensiuni, prin rezistența R_3 trece un curent de ordinul miliamperilor. În momentul apariției unei supratensiuni se amorsează arcul electric în eclatoarele $E_{as,}$ la tensiunea de amorsare u_a. Curentul de

descărcare i_d trece prin rezistența R_1 de şuntare a bobinei B. Prin aceasta nu trece un curent important, deoarece impedanța ei este practic infinită pentru armonicele de frecvență înaltă ale curentului de descărcare I_d. Acest curent parcurge şi rezistența neliniară principală R_2.

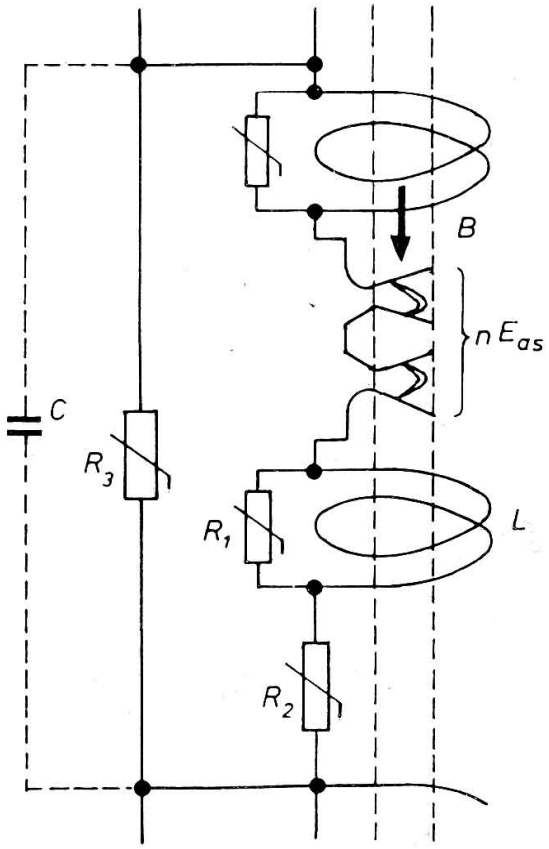


Figura 3.46. Principiul de funcționare a modulului cu suflaj magnetic a unui descărcător de înaltă tensiune.

Tensiunea cea mai mare, după amorsare, la bornele descărcătorului este tensiunea rezidual㠄 u_r. După conducerea la pământ a sarcinilor electrice, eclatoarele îşi conservă ionizarea, iar prin descărcător va trece, curentul de însoțire I_i. Aceasta este limitat la câteva sute de amperi de către rezistențele R_2. Curentul de însoțire fiind de frecvență relativ redusă (50 sau 60 Hz), va trece prin bobinele de suflaj magnetic L. Acestea determină inducția magnetică B în zona eclatoarelor şi astfel se dezvoltă forțe Lorentz, care împing arcul electric în camerele de stingere cu fantă îngustă şi pereți reci.

Datorită răcirii intense a arcului electric, tensiunea de ardere creşte şi în cele din urmă arcul electric se stinge iar curentul de însoțire este determinat de tensiunea sursei si de impedanța buclei de scurtcircuit, în care intră şi rezistența arcului electric în eclatoare şi rezistența principală R_2.

Rezistenţele variabile ale descărcătoarelor se realizează din carborund o carbură de Si (SiC) obţinută la temperatura arcului electric din reacţia carbonului (C) cu nisipul de cuarţ (SiO_2). Materialul rezultat este spălat de Fe cu ajutorul acizilor, măcinat, deferizat din nou cu ajutorul separatoarelor magnetice şi sortat după granulaţie. În această stare materialul primeşte un liant (sticlă lichidă), este aglomerat sub formă de discuri cu ajutorul presei hidraulice şi apoi calcinat la aproximativ 600°C. Pentru a stabiliza neliniaritatea discurilor, se aplică câteva şocuri (impulsuri de 10/20 μs) de amplitudine egală cu intensitatea nominală.

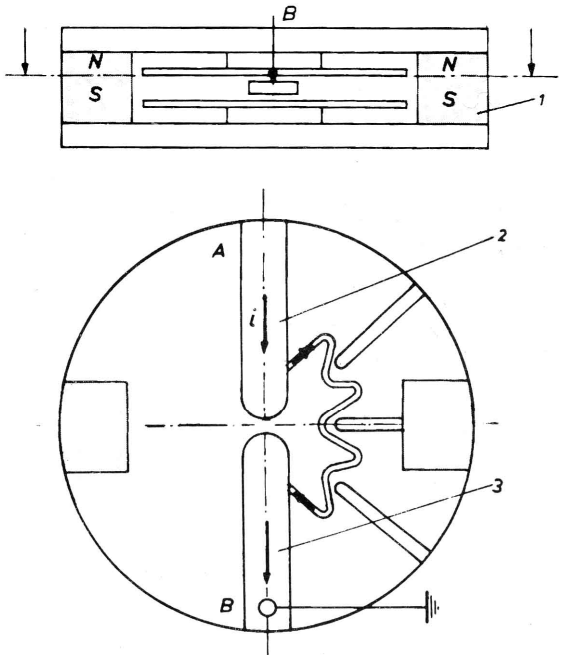


Figura 3.47. Eclatorul descărcătorului de curent continuu.
1-magnet permanent, 2 şi 3-electrozii eclatorului.

Performanţele unui descărcător sunt determinate în mare măsură de neliniaritatea rezistenţelor şi precizia amorsării şi stingerii eclatoarelor.

Cu cât rezistenţele sunt mai neliniare, conducţia sarcinilor electrice la pământ, sub forma curentului de impuls, este mai rapidă, iar în etapa finală a vehiculării sarcinilor electrice, când intensitatea curentului este redusă, rezistenţa ia valori mari, ceea ce favorizează stingerea arcului electric. Precizia la amorsare şi stingere a eclatoarelor se obţine printr-un control riguros al tensiunii ce revine fiecărui eclator. Practic, acest control se realizează cu ajutorul divizoarelor capacitive, rezistive sau mixte.

Descărcătoare cu rezistenta variabila (DRVS), sunt aparate moderne pentru protecţia împotriva supratensiunilor externe cât şi împotriva celor

interne.

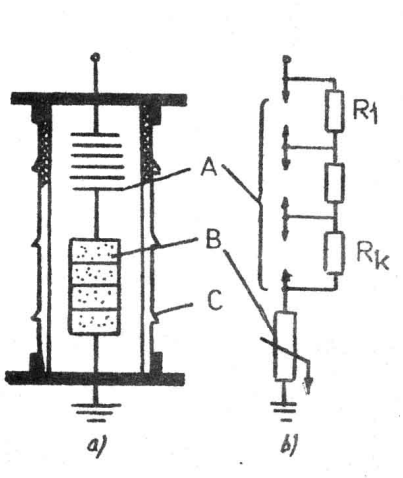


Figura 3.48. Descărcător cu rezistență variabilă DRVS.

Conform figurii 3.48. elementele componente ale descărcătorului DRVS sunt:

A – coloana de eclatoare în paralel pe care se găsesc rezistențele de şuntare R_1... R_k cu rolul de a realiza uniformizarea câmpului electric în eclatoare;

B – coloana de rezistențe variabile formate din mai multe discuri din carbură de siliciu cu caracteristica volt-amperică mare;

C – anvelopa de porțelan ce protejează eclatoarele şi rezistențele neliniare de influența temperaturii şi altor factori atmosferici.

Pentru a evita explozia anvelopei capacele de etanşare se montează cu şifturi care se foarfecă la apariția unei presiuni prea mari descărcătorul funcționând ca o supapă de siguranță.

Funcționarea descărcătorului DRVS constă în amorsarea coloanei de eclatoare în cazul apariției unei supratensiuni care depăşeşte nivelul de izolație al descărcătorului, conducerea la pământ a curentului de scurgere care limitează supratensiunea din instalație iar în final stingerea arcului electric.

Stingerea este determinată de rezistența neliniară, a cărei valoare creşte pe măsură ce valoarea supratensiunii scade, permițând întreruperea curentului de însoțire la prima sa trecere prin 0. Menționez că curentul de conductibilitate prin coloana de rezistență de şuntare şi rezistența neliniară la tensiunea nominală este neglijabil (400…600μA).

O altă variantă modernă de descărcătoare este Descărcătorul cu rezistența neliniară din oxizi metalici pe bază de ZnO, Bi_2O_3 ,CoO care permit realizarea unui descărcător fără eclator. Dificultatea care a fost rezolvată a constat în menținerea curentului de regim permanent prin rezistența neliniară la valori acceptabile (mA). La creşterea tensiunii

(supratensiuni atmosferice sau de comutaţie) din cauza nelinearităţii accentuate a rezistenţei, aceasta trece în stare de conducţie şi astfel se limitează tensiunea la borne.

3.4.4. Mărimile caracteristice ale unui descărcător

Conform normativelor principalele mărimi caracteristice ale unui descărcător sunt:

Tensiunea nominală, care se alege în funcţie de tensiunea de serviciu a liniei şi de coeficientul de punere la pământ. Tensiunea nominală a descărcătorului trebuie să fie uşor superioară tensiunii fazelor sănătoase în situaţia punerii la pământ a unei faze.

Tensiunea de amorsare la undă 1,2/50 μs . Această tensiune poate fi definită prin relaţia:

$$u_a = \sum_{i=1}^{n} u_{ai} \approx n u_{a1} \qquad (3.35)$$

unde: n –numarul eclatoarelor conectate în serie,

u_{a1}- tensiunea de amorsare a unui eclator.

Tensiunea reziduală, care este definită prin relaţia :

$$u_r = \sum_{i=1}^{m} u_{ri} \qquad (3.36)$$

unde : u_{ri}- tensiunea reziduală individuală a unui disc,

m – numărul discurilor care formează rezistenţele descărcătorului.

Tensiunea de amorsare pe frontul undei în 1,2/50 μs, adică aceea tensiune care divizată cu 1,15 are valori apropiate de tensiunea reziduală şi constituie nivelul de protecţie. Raportul între nivelul de ţinere la unda 1,2/50 μs şi nivelul de protecţie trebuie să fie minim 1,2. Pentru supratensiunea de comutaţie (unda 250/2500μs) acest raport este de 1,15.

Curentul nominal este curentul maxim de impuls 10/20 μs, care se poate repeta fără a deteriora descărcătorul. Valori nominalizate pentru acest curent sunt de 5 kA şi de 10 kA. La aceasta se asociază curentul singular pe care îl suportă un descărcător.

Curentul de însoţire poate ajunge la 1000 A iar durata lui se poate prelungi până la câteva ms. La descărcătoarele moderne tensiunea maximă obţinută la trecerea curentului de însoţire nu depăşeşte de 2÷3 ori din tensiunea nominală a descărcătorului.

Tensiunea maxima de funcţionare in regim permanent U_c, este cea mai mare tensiune pe care descărcătorul o poate accepta în regim permanent fără a suferi degradări funcţionale.

Rezistența la supratensiune temporară U_s la frecvența industrială, definită prin:

$$T = \frac{U_s}{U_c} > 1 \qquad (3.37)$$

Capacitatea de absorție de energie, definită prin relația:

$$E_s = \frac{W[kJ]}{U_c[kV]} \qquad (3.38)$$

s-a notat cu: W - energia totală, transformată în căldură de către rezistența neliniară a descărcătorului.

j) Tensiunea reziduală (de rest) este tensiunea care apare la bornele descărcătorului la trecerea unui curent de impuls de 8/20 μs şi amplitudinea 10kA şi reprezintă şi nivelul de protecție.

3.5. RELEE DE TIMP

Aceste relee nu au rol de protecție propriu-zis, dar sunt folosite în schemele electrice de protecție, acționare şi automatizări alături de aparatele electrice de comutație şi protecție.

Aceste relee determină un semnal în circuitul de ieşire după un anumit interval de timp din momentul aplicării sau întreruperii tensiunii din circuitul lor de intrare.

Există relee de timp cu temporizare la acționare, care determină un semnal în circuitul de ieşire după un anumit interval de timp (reglabil) din momentul aplicării semnalului de intrare şi relee de timp cu temporizare la revenire, care determină un semnal în circuitul de ieşire după un anumit interval de timp din momentul întreruperii semnalului de intrare.

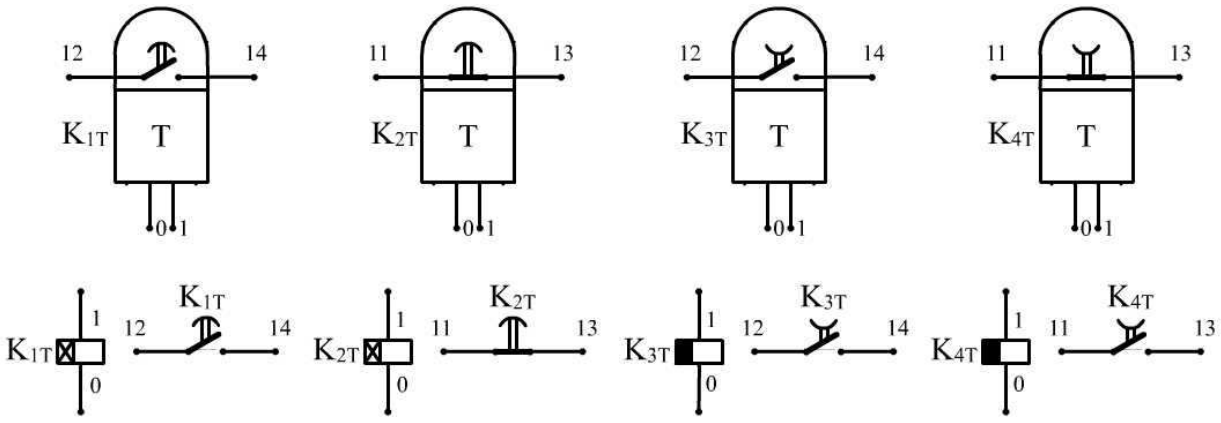


Figura 3.49. Modul de reprezentare al releelor de timp în schemele electrice.

K_{1T} - releu de temporizare cu temporizare la acționare şi contact normal deschis,

K_{2T} - releu de temporizare cu temporizare la acționare şi contact normal închis,

K_{3T} - releu de temporizare cu temporizare la revenire şi contact normal deschis,

K_{4T} - releu de temporizare cu temporizare la revenire şi contact normal închis.

Modul de reprezentare în schemele electrice ale acestor relee este prezentat în figura 3.49. Astfel K_{1T} este un releu de timp cu temporizare la acționare având un contact normal deschis (12-14) ce se închide după un anumit timp din momentul aplicării semnalului de intrare la bornele (0-1); K_{2T} este un releu de timp cu temporizare la acționare având un contact normal închis (11-13) care se deschide după un anumit timp din momentul aplicării semnalului de intrare la bornele (0-1); K_{3T} este un releu de timp cu temporizare la revenire având un contact normal deschis (12-14) care se deschide după un anumit timp din momentul dispariției semnalului de intrare (0-1) iar K_{4T} este un releu de timp cu temporizare la revenire având un contact normal închis (11-13) care se închide după un anumit interval de timp din momentul dispariției semnalului de intrare.

3.5.1.Clasificarea releelor de temporizare

După principiul de funcționare al ansamblului de temporizare releele de timp pot fi:

- cu temporizare electromagnetică, când se foloseşte un electromagnet ce acționează un mecanism de ceasornic cu roți dințate;
- cu temporizare prin relee de inducție care datorită caracteristicii temporale dependente a acestor relee pot îndeplinii şi funcția de relee de temporizare pe lângă cea de relee maximale de curent sau direcționale;
- cu temporizare electrică care prin folosirea unor circuite R,C pot realiza funcția de temporizare;
- cu temporizare electronică, prin utilizarea elementelor semiconductoare, diode şi tranzistoare;
- cu temporizare electrotermică care folosesc efectul de deformare în timp a termobimetalelor;
- cu temporizare realizată prin motoare electrice, care utilizează

micromotoare sincron-reactive;

- cu temporizare pneumatică, etc.

Aceste relee se folosesc în automatizări şi în sistemele energetice, unde realizează temporizarea necesară unei protecţii selective. Ele sunt comandate în general de relee de curent sau tensiune şi transmit un semnal unui releu intermediar.

În figura 3.50. este reprezentat un releu de timp K_{1T}, excitat de un releu maximal de curent F_1 şi care transmite un semnal pentru acţionarea unui releu intermediar K_2. Astfel la apariţia unui defect, acesta este sesizat de releul maximal de curent F_1 care acţionează releul de temporizare K_{1T}, care fiind cu temporizare la acţionare îşi închide contactul după un anumit timp reglat, provocând acţionarea releului intermediar K_2.

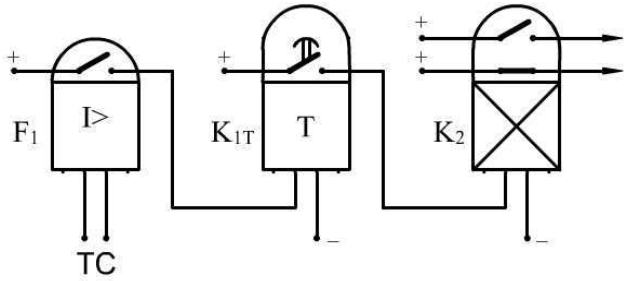


Figura 3.50. Conectarea releului de temporizare K_{1T} într-un circuit electric. F_1 - releu maximal de curent; K_{1T} - releu de temporizare cu temporizare la acţionare; K_2 - releu intermediar.

3.5.2.Variante constructive de relee electromagnetice de temporizare

Un releu de timp este deci format din circuitul de intrare, un ansamblu de temporizare şi de circuitul de ieşire.

Releele de temporizare electromagnetice au ca element de acţionare un electromagnet. Ele sunt compuse dintr-un electromagnet solenoidal, care armează un mecanism de ceasornic şi care închide temporizat un contact normal deschis. Schema de principiu a unui astfel de releu este prezentată în figura 3.51.

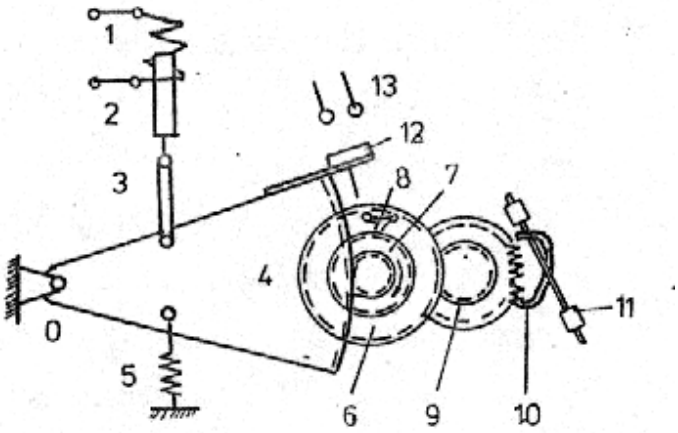


Figura 3.51. Schema de principiu a unui releu de temporizare cu mecanism de ceasornic
1 - electromagnet de acționare, 2-armătura mobilă, 2-pârghie, 4-sector dințat, 5 - resort spiral antagonist, 6,7,8,9-roți dințate, 10-ancoră, 11-contragreutăți, 12-contact mobil, 13-contacte fixe.

La primirea semnalului de intrare, electromagnetul 1 atrage armătura mobilă 2 şi mecanismul se pune în mişcare şi îşi închide contactele din circuitul de ieşire după un anumit timp. Modul de funcționare a acestor relee în figura 3.51. este prezentată schema de principiu a mecanismului de ceasornic care realizează temporizarea releului. De electromagnetul solenoidal 1, a cărui armătură 2 este legată prin pârghia 3 este legat sectorul dințat 4 care se poate roti în jurul articulației O. Asupra sectorului dințat mai acționează resortul spiral antagonist 5. Pornirea sectorului dințat pune în mişcare roțile dințate 6, 7, 8 şi 9. Roata 7 tinde să se rotească în sensul indicat în figura 3.44. însă este oprită deoarece prin dinții săi oblici este blocată de clichetul 8 fixat de roata 6 şi care nu permite mişcarea liberă decât în sens invers (la revenirea la poziția inițială). În acest mod deplasarea sectorului dințat 4 determină pornirea roții 6, care la rândul ei este angrenată cu roata dințată 9. Aceasta nu permite mişcarea întregului angrenaj decât după parcurgerea, dinte cu dinte, a danturii sale, datorită sistemului cu ancoră 10 şi a balansierului cu contragreutăți 11. Astfel, sectorul dințat 4 avansează cu o viteză constantă, până la sfârşitul cursei, când contactul mobil 12 închide contactele fixe 13.

Temporizarea releului poate fi reglată în limite largi (0,5-10 s) prin modificarea poziției contactelor fixe şi în limite restrânse prin modificarea poziției contragreutăților 11 (pentru reglarea corectă a timpului).

În mod curent electromagnetul de acționare este de curent continuu, alimentat de la o sursă cu tensiuni nominale de 12, 24, 48, 110 sau 220 V.

3.5.3. Relee de timp electrice

Releele de timp cu temporizare electrică se realizează cu module R,C care utilizează încărcarea sau descărcarea unui condensator.

În figura 3.52. este reprezentată schema electrică a unui releu cu temporizare electrică la acționare.

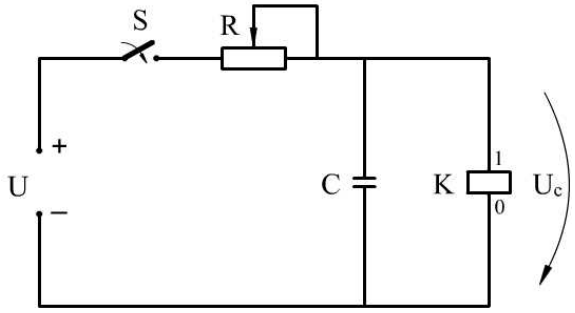


Figura 3.52. Schema electrică a unui releu electric cu temporizare la acționare.

La aplicarea semnalului de intrare, prin închiderea contactului S, tensiunea la bornele condensatorului C şi implicit tensiunea aplicată releului K, variază în timp după relația:

$$U_c = U\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \qquad (3.39.)$$

unde: $T=R\cdot C$ (3.40)

este constanta electrică de timp a circuitului.

La atingerea tensiunii de prag $U_c = U_k$ se produce acționarea releului, cu o temporizare dependentă de constanta de timp a circuitului T şi de tensiunea de alimentare U.

Reprezentarea relației (3.39) pentru diferite valori ale tensiunii de alimentare este reprezentată în figura 3.53.a) rezultând metode de reglare a temporizării releului electric de timp prin modificarea tensiunii la borne.

În figura 3.53.b) s-a reprezentat modul de variație a tensiunii U_c pentru diferite valori ale constantei electrice de timp T, la tensiune la borne constantă.

Rezultă că dacă se fixează nivelul tensiunii de prag U_k la care acționează releul, timpul de acționare scade cu creşterea tensiunii aplicate sau cu micşorarea constantei de timp a releului.

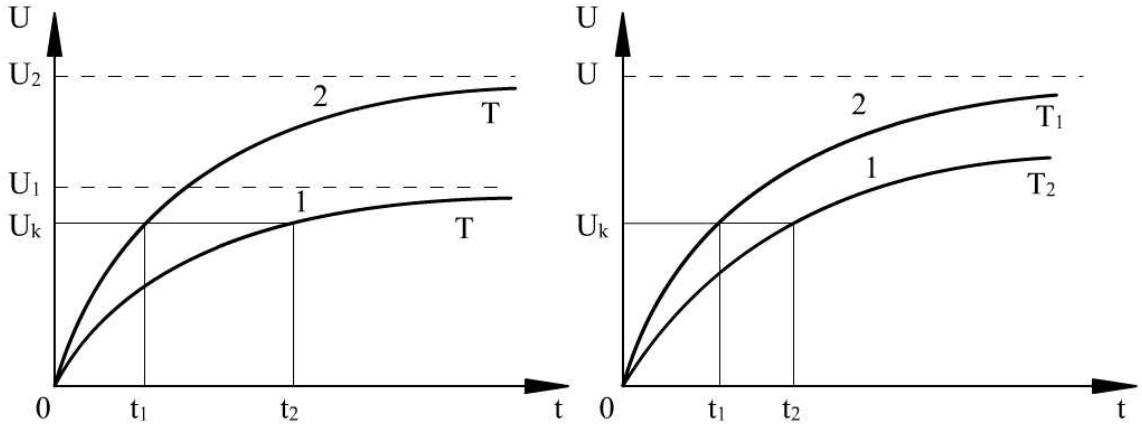


Figura 3.53. Modalitățile de reglare a timpului de acționare prin modificarea tensiunii de alimentare şi a constantei electrice a circuitului.

Un releu electric de timp cu temporizare la revenire este prezentat în figura 3.48.

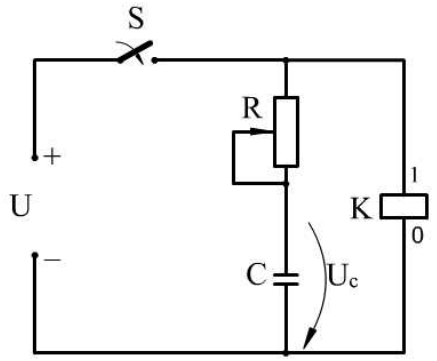


Figura 3.53.Schema electrică a unui releu electric cu temporizare la revenire

Acest tip de releu la aplicarea semnalului de intrare, prin închiderea contactului S, se aplică releului întreaga tensiune la borne U iar releul acționează instantaneu la închidere. În acelaşi timp, prin rezistența R, condensatorul C se încarcă la tensiunea rețelei. La deschiderea contactului S, condensatorul C se descarcă peste R şi K iar releul mai rămâne acționat un timp până ce tensiunea aplicată releului scade sub tensiunea de prag U_k. Şi în acest caz reglarea timpului de revenire al releului se poate face fie prin modificarea constantei de timp a circuitului de descărcare (modificarea rezistenței R), sau prin modificarea tensiunii aplicate releului (figura 3.53.). Se obține astfel un releu cu temporizare la revenire şi posibilitatea de reglare a temporizărilor.

3.5.4. Relee electronice de temporizare

Releele electronice de temporizare se pot clasifica după principiul de funcționare în două clase:

relee electronice de timp analogice

relee de timp digitale.

La releele analogice temporizarea se realizează cu ajutorul circuitelor R,C elementul semiconductor putând fi o triodă sau un tranzistor.

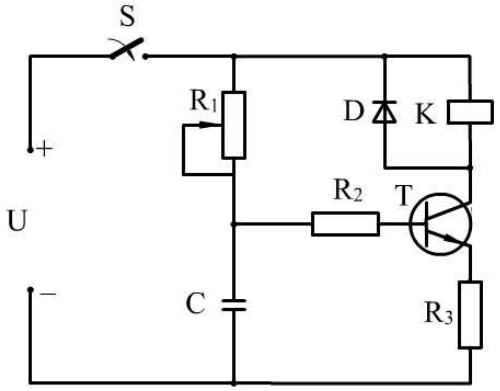


Figura 3.54. Releu electronic analogic (cu tranzistor) pentru temporizare la acționare

Conform schemei din figura 3.54. releul de timp analogic cu tranzistor prezentat este un releu de timp cu temporizare la acționare. La închiderea contactului S, condensatorul C se încarcă prin rezistența R_1 şi când tensiunea la bornele sale atinge o valoare determinată tranzistorul T intră în stare de conducție şi releul K acționează. Reglarea temporizării se face în limite relativ largi prin modificarea valorii rezistenței R_1, adică prin modificarea valorii constantei electrice de timp a circuitului.

Rolul diodei D este de a evita supratensiunile ce pot apărea pe tranzistorul T la comutația bobinei releului K.

Schema unui releu analogic de timp cu temporizare la revenire este prezentată în figura 3.50. La închiderea contactului S, deoarece tensiunea aplicată în baza tranzistorului T este tensiunea U, tranzistorul intră în stare de conducție şi releul K acționează instantaneu.

În timpul conducției tranzistorului T, prin rezistența R_1, condensatorul C se încarcă la tensiunea rețelei. La întreruperea contactului S condensatorul se descarcă peste R_1, R_2, T şi R_3 iar când tensiunea lui scade sub valoarea de prag, releu K revine, cu o anumită temporizare (a cărei valoare se poate regla prin valoarea rezistenței R_1) la starea blocată.

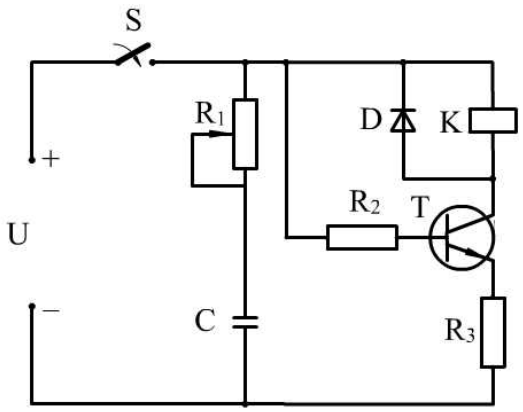


Figura 3.55. Releu electronic analogic (cu tranzistor) pentru temporizare la revenire

Cele mai noi variante de relee de timp sunt integrate ce au în componența lor un temporizator integrat format din două comparatoare cu tensiuni de referință diferite, un divizor de tensiune rezistiv, un circuit basculant bistabil şi un etaj amplificator de ieşire.

Deoarece la temporizări mari, atât releele electrice cât şi releele analogice au o precizie scăzută, se preferă utilizarea releelor digitale. Aceste relee de timp digitale se bazează pe divizarea frecvenței unui oscilator pilot sau a frecvenței rețelei şi au în componența lor un oscilator de relaxare (TUJ), un circuit basculant bistabil, divizoare de frecvență şi condensatoare.

Releele electronice au avantajul unui gabarit scăzut, consum propriu mic şi gama de reglaj mare. În schimb releele electronice sunt sensibile la variații de temperatură, supratensiuni de comutație şi deoarece au curentul de ieşire foarte mic necesită amplificatoare de ieşire sau relee intermediare.

Pentru a verifica modul de însuşire a cunoştinţelor prezentate în acest capitol răspundeţi pe scurt la următoarele întrebări:

1. Ce tipuri de defecte apar în instalaţiile electrice?
2. Ce regimuri de avarie cunoaşteţi?
3. Ce tipuri de aparate electrice de protecţie cunoaşteţi?
4. Care sunt principalele proprietăţi ale unei protecţii?
5. Ce înţelegeţi printr-o protecţie selectivă?
6. Ce înţelegeţi printr-o protecţie rapidă?
7. Ce înţelegeţi printr-o protecţie sigură?
8. Ce înţelegeţi printr-o protecţie sensibilă?
9. Ce proprietăţi ale unei protecţii au un caracter antagonist?
10. Definiţi siguranţa fuzibilă.
11. Care sunt etapele de ardere ale unui fuzibil?
12. Clasificaţi siguranţele fuzibile după tensiunea nominală.
13. Clasificaţi siguranţele fuzibile după timpul de ardere.
14. Ce tipuri de siguranţe de joasă tensiune cunoaşteţi ?.
15. Ce înţelegeţi printr-o siguranţă fuzibilă de uz industrial?
16. Ce mărimi caracteristice au siguranţele fuzibile?
17. Definiţi curentul de rupere.
18. Definiţi puterea de rupere.
19. Ce principii de stingere a arcului electric se foloseşte la siguranţele fuzibile?
20. Ce tip de caracteristică temporală de protecţie are siguranţa fuzibilă?
21. Din ce materiale se realizează fuzibilele siguranţelor de joasă tensiune?
22. Din ce materiale se realizează fuzibilele siguranţelor de medie tensiune?
23. În ce constă efectul de limitare a unei siguranţe fuzibile?
24. Ce este efectul metalurgic?
25. Ce fel de legături pot avea siguranţele fuzibile cu filet?
26. Ce este un M.P.R.?
27. Ce avantaje prezintă folosirea siguranţelor fuzibile?
28. Ce dezavantaje prezintă folosirea siguranţelor fuzibile?
29. Definiţi curentul prezumat.
30. Definiţi curentul prezumat tăiat.
31. Definiţi curentul limitat.
32. Definiţi curentul limitat tăiat.
33. Ce timpi constituie durata de arc?
34. De ce este necesar efectul de limitare a siguranţelor fuzibile?
35. Clasificaţi siguranţele fuzibile după timpul de ardere.
36. Clasificaţi siguranţele fuzibile de înaltă tensiune după modul de montaj.
37. Cum se asigură selectivitatea protecţiilor cu siguranţe fuzibile?

38. Definiți un releu de protecție.
39. Care este schema bloc a unui releu de protecție.
40. Ce rol are elementul sensibil al unui releu?
41. Ce rol are elementul comparator al unui releu?
42. Ce rol are elementul executor al unui releu?
43. Cum se clasifică releele de protecție după principiul de funcționare?
44. Cum se clasifică releele după mărimea de protejat?
45. Cum se clasifică releele de protecție după acțiunea față de o anumită valoare a mărimii de intrare?
46. Care este mărimea de ieşire a unui releu electric de protecție?
47. Ce este un releu maximal de protecție?
48. Ce este un releu minimal de protecție?
49. Ce este un releu direcțional de protecție?
50. Cum se clasifică releele de protecție după modul de conectare în circuit?
51. Cum se clasifică releele de protecție după modul în care acționează asupra aparatelor de comutație?
52. Ce este caracteristica intrare–ieşire a unui releu de protecție?
53. Desenați caracteristica intrare–ieşire a unui releu maximal.
54. Desenați caracteristica intrare–ieşire a unui releu minimal.
55. Desenați caracteristica intrare–ieşire a unui releu polarizat.
56. Definiți coeficientul de revenire a unui releu.
57. Definiți eroarea de reglaj a unui releu.
58. Definiți factorul de comandă a unui releu.
59. Cât este coeficientul de revenire a unui releu maximal?
60. Ce mărime cuantifică sensibilitatea unui releu de protecție?
61. Definiți caracteristica temporală de protecție a unui releu.
62. Ce tipuri de caracteristici temporale de protecție ale releelor există?
63. Desenați o caracteristică temporală de protecție dependentă.
64. Desenați o caracteristică temporală de protecție independentă.
65. Desenați o caracteristică temporală de protecție semidependentă.
66. Desenați o caracteristică temporală de protecție limitat-dependentă (mixtă).
67. Cum se clasifică releele de protecție după timpul de acționare?
68. Care este elementul motor al unui releu termobimetalic?
69. Ce aliaje se folosesc la realizarea lamelelor termobimetalice?
70. Clasificați releele termobimetalice după modul de încălzire a lamelei.
71. Ce tip de caracteristică temporală de protecție are un releu termobimetalic?
72. Ce este caracteristica la rece a unui releu?
73. Ce este caracteristica la cald a unui releu?
74. Ce este săgeata lamelei termobimetalice?

75. Cum se reprezintă în schemele electrice un releu termobimetalic şi contactele sale?
76. Cum se reprezintă în schemele electrice un bloc de relee termobimetalice?
77. Ce tipuri de blocuri de relee termobimetalice se produc în țară?
78. Ce rol are lamela compensatoare a unui bloc de relee termobimetalice?
79. Ce rol are dispozitivul de sacadare a unui bloc de relee termobimetalice?
80. Ce mărimi caracteristice are un bloc de relee termobimetalice?
81. Ce avantaje prezintă folosirea releelor termobimetalice?
82. Ce dezavantaje prezintă folosirea releelor termobimetalice?
83. Ce echipamente se protejează prin releele termobimetalice?
84. Ce regimuri anormale elimină releele termobimetalice?
85. Care este elementul motor al unui releu electromagnetic?
86. Clasificați releele electromagnetice după mărimea protejată.
87. Cum deosebiți un releu electromagnetic de tensiune de unul de curent?
88. Cum se reglează în trepte curentul unui releu electromagnetic maximal de curent.
89. Ce este un releu de tensiune nulă?
90. Ce este curentul de serviciu a unui releu maximal de curent?
91. Ce este curentul reglat a unui releu maximal de curent?
92. Cum se reprezintă în schemele electrice un releu maximal de curent.
93. Cum se reprezintă în schemele electrice un releu diferențial de curent.
94. Cum se reprezintă în schemele electrice un releu maximal de tensiune.
95. Cum se reprezintă în schemele electrice un releu minimal de tensiune.
96. Cum se reprezintă în schemele electrice un releu de tensiune nulă.
97. Cum se reprezintă în schemele electrice contactul NI a unui releu electromagnetic?
98. Ce este o siguranță automată?
99. Ce relee electromagnetice de protecție se produc în țară?
100. Ce avantaje prezintă releele electromagnetice de protecție?
101. Ce dezavantaje prezintă releele electromagnetice de protecție?
102. Ce tipuri de relee de inducție cunoaşteți?
103. Care este condiția de apariție a momentului motor în releul de inducție cu rotor disc?
104. Ce sens are momentul de rotație a unui releu de inducție cu rotor disc în raport cu spira în scurtcircuit?
105. Cum se realizează defazarea fluxului la releul de inducție cu o înfăşurare?
106. Ce caracteristică temporală are un releu de inducție cu rotor disc?
107. Ce tipuri de relee de protecție se realizează cu mecanismul de inducție cu rotor disc?
108. Ce tipuri de relee de protecție se realizează cu mecanismul de inducție

cu circuit profilat (rotor cilindric)?
109. Cum se reprezintă în schemele electrice releele direcționale?
110. Care este expresia momentului motor al unui releu de inducție cu circuit profilat?
111. Ce este unghiul intern a unui releu de inducție cu două înfăşurări?
112. Ce este un RTp-C?
113. Ce caracteristică temporală de protecție are un RTp-C?
114. Ce este tăierea de curent?
115. Ce rol are un releu Buchholz?
116. La ce defecte asigură protecția un releu Buchholz?
117. Unde se montează un releu Buchholz?
118. Cum se reprezintă în schemele electrice releul Buchholz?
119. Ce rol are clapeta de şoc a unui releu Buchholz?
120. Ce avantaje prezintă utilizarea releului Buchholz?
121. Ce dezavantaje prezintă utilizarea releului Buchholz?
122. Ce tipuri de protecții se utilizează la transformatoarele electrice în ulei?
123. Ce este un declanşator?
124. Care este mărimea de ieşire a unui declanşator?
125. Clasificați declanşatoarele după mărimea protejată?
126. Clasificați declanşatoarele după elementul motor?
127. Ce este un descărcător?
128. Ce este un eclator?
129. Ce tipuri de eclatoare cunoaşteți?
130. Ce este un DRVS?
131. Ce tipuri de descărcătoare se folosesc în rețelele de joasă tensiune?
132. Ce tipuri de descărcătoare se folosesc în rețelele de medie tensiune?
133. Ce tipuri de descărcătoare se folosesc în rețelele de înaltă tensiune?
134. Ce tipuri de descărcătoare se folosesc în rețelele de curent continuu de joasă tensiune?
135. Ce materiale se utilizează la
rezistențele variabile folosite la descărcătoare?
136. Ce rol au releele de temporizare în circuitele de protecție şi automatizare?
137. Cum se reprezintă în schemele electrice un contact NI cu temporizare la acționare?
138. Cum se reprezintă în schemele electrice un contact NI cu temporizare la revenire?
139. Cum se reprezintă în schemele electrice un contact ND cu temporizare la acționare?
140. Cum se reprezintă în schemele electrice un contact ND cu temporizare la revenire?

141. Definiți un releu de timp cu temporizare la acționare.
142. Definiți un releu de timp cu temporizare la revenire.
143. Clasificați releele de temporizare după principiul de funcționare.
144. Clasificați releele de temporizare electromecanice după elementul motor.
145. Cum se poate regla temporizarea unui mecanism de ceasornic?
146. Ce circuite electrice se folosesc la realizarea releelor electrice de temporizare?
147. Cum se poate regla temporizarea unui releu electric de timp?
148. Clasificați releele de timp cu temporizare electronică după principiul de funcționare.
149. Ce dispozitive semiconductoare se folosesc la realizarea releelor electronice de timp analogice?
150. Ce componente electronice se folosesc la realizarea releelor numerice de timp?

4 APARATE DE COMUTAȚIE DE MEDIE ŞI ÎNALTĂ TENSIUNE

Din punctul de vedere al **tensiunii nominale** rețelele electrice şi echipamentele electrice de comutație care le deservesc se clasifică astfel:

– rețele de joasă tensiune, sub 1 kV, cele mai frecvente fiind tensiunile de 400 şi 230 V, utilizate pentru distribuția energiei electrice la consumatori.

– rețele de medie tensiune, cu tensiunea între 1 şi 35 kV (sau 6 şi 60 kV), utilizate în general pentru distribuția energiei electrice;

– rețele de înaltă tensiune, cu tensiuni de 110, 220, 400 kV şi mai mult, folosite pentru transportul energiei electrice dinspre zonele de producere, înspre zonele de consum.

Deşi noțiunea de medie tensiune nu este reglementată pe plan internațional, datorită caracteristicilor comune pe care le au aparatele electrice care intră în această categorie ea s-a impus în literatura de specialitate.

Cele mai importante mărimi caracteristice ale unui aparat de comutație de medie sau înaltă tensiune sunt:

– tensiunea nominală, definită ca tensiunea efectivă, între faze, maximă la care un aparat electric este proiectat să funcționeze în regim normal.

– curentul minimal, este valoarea efectivă a curentului alternativ, în serviciu de lungă durată, pe care îl poate suporta un aparat electric de comutație pentru condiții de funcționare bine precizate.

– capacitatea de rupere reprezintă curentul prezumat, în valoare efectivă, care poate fi comutat de aparat la o tensiune dată şi în condiții de funcționare bine precizate.

– puterea de rupere definită de relația:

$$P_r = m \cdot U_{nf} \cdot I_r \qquad (4.1.)$$

în care s-au făcut notațiile:

m =1;2 sau 3 reprezintă numărul de faze,

U_{nf} - este tensiunea nominală de fază;

I_r-este capacitatea de rupere nominală.

– capacitatea de conectare este curentul cel mai mare (în valoare de vârf), pe care îl poate conecta un aparat la o tensiune dată şi în condiții de funcționare bine precizate.

Cele mai semnificative aparate de comutație de medie şi înaltă tensiune sunt: separatoarele, contactoarele şi întrerupătoarele electrice. Aceste aparate sunt folosite la comanda, protecția şi reglarea maşinilor electrice de putere, a rețelelor de distribuție a energiei electrice şi a posturilor de transformare.

4.1. SEPARATOARE DE MEDIE TENSIUNE

Separatoarele sunt aparate cu ajutorul cărora se închid sau se deschid circuitele electrice care nu sunt sub sarcină, deoarece ele nu au capacitatea de a întrerupe decât curenții electrici foarte mici (de mărimea unui curent de mers în gol al unui transformator de putere).

Separatorul are menirea de a asigura observarea de la distanță a stării circuitului, închis sau deschis, fiind un aparat mecanic de comutație fără capacitate de rupere a arcului electric şi care din motive de securitatea exploatării asigură pentru poziția deschisă, o întrerupere vizibilă a circuitului şi o distanță de izolare suficientă între bornele fiecărui pol. Rigiditatea dielectrică dintre polii unui separator este maximă într-un circuit.

4.1.1. Clasificarea separatoarelor.

Clasificarea separatoarelor de medie tensiune se poate face după mai multe criterii dintre care cele mai importante sunt:

A. După modul de amplasare:
- – pentru instalații interioare;
- – pentru instalații exterioare.

B. După tensiunea de lucru:
- – de medie tensiune;
- – de înaltă tensiune;
- – de foarte înaltă tensiune.

C**. După soluția constructivă:**
- – separatoare de tip cuțit;
- – separatoare rotative;
- – separatoare de translație;
- – separatoare basculante;
- – separatoare pantograf.

D. După tipul dispozitivului de acționare:
- – cu acționare manuală;
- – cu ştangă;
- – cu arcuri;
- – cu roată melcată;
- – cu acționare pneumatică;
- – cu acționare prin servomotor electric.

E. După felul contactelor:

– cu cuțite;
– cu siguranțe MPR;
– cu siguranțe tubulare;
– pentru punere la pământ;
– separatoare inversoare (cu pastile sinterizate).

D. După numărul de poli:

– monopolare;
– multipolare.

E. După valoarea curentului întrerupt:

– normale (nu întrerup decât curenți foarte mici);
– de sarcină (pot întrerupe curenți nominali de sarcină).

Separatoarele de medie tensiune sunt separatoare tripolare de tip cuțit sau de tip rotativ de sarcină cu cameră plată pentru tensiuni nominale de 10 şi 20 KV, cu şi fără cuțite de punere la pământ, cu şi fără siguranțe fuzibile pe cadru comun.

Principalii parametrii funcționali ai separatoarelor de interior sunt:

– tensiunea nominală de 10 kV şi curentul nominal de 400 şi 630A;
– tensiunea nominală 20 kV şi curent nominal de 200A.

În funcție de varianta constructivă separatoarele pot fi prevăzute cu cuțite şi contacte de punere la pământ şi cu interblocaje. Pe cadrul comun se pot monta suporți cu siguranțe fuzibile precum şi mecanismul de declanşare care printr-un sistem de pârghii în cazul arderii siguranței dă comanda mecanică asupra dispozitivului de acționare pentru deschiderea separatorului.

Pentru a se putea realiza deschiderea aparatului este necesar ca în momentul când se dă comanda, resortul dispozitivului de acționare să fie armat.

Armarea se face cu dispozitivul de acționare manuală sau automat.

4.1.2. Principalele variante constructive ale separatoarelor de medie tensiune

Separatoarele de medie tensiune se construiesc pentru toate tensiunile standardizate şi se pot monta în funcție de tipul construcției, atât în interior cât şi în exterior.

Separatoare de tip cuțit

Se execută pentru tensiuni nominale de 10, 20, 35 kV şi curenți nominali de 200, 400, 630 şi 800 A, în variante mono şi tripolare, cu şi fără

cuțite de punere la pământ.

Calea de curent este formată din bornele de racord, contactele fixe 3 şi cuțitul 4 care constituie contactul mobil. Izolatoarele suport 2 sunt din porțelan cu armare interioară. Partea mecanică este formată din soclul 1 şi bielele-manivelele de acționare 5, 6 şi 7.

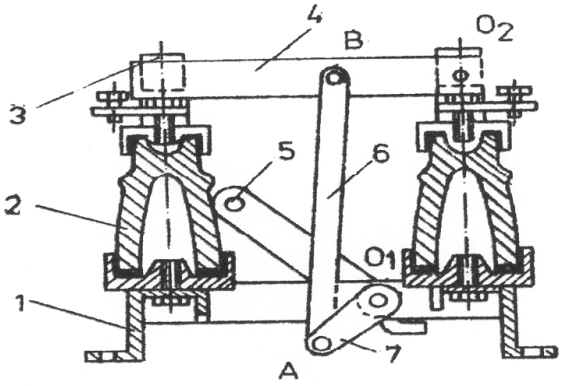


Figura 4.1. Separator tip cuțit
1- cadru suport, 2- izolatoare suport, 3- contact fix, 4- cuțit,
5, 6, 7- pârghii de acționare.

Separatoarele rotative execută o mişcare de rotație în plan vertical. Izolatoarele de trecere sunt realizate din răşini având înglobate la capete cuțitele de contact fixe montate pe cadrul metalic.

Acționarea izolatorului mobil se face cu ajutorul unor manete de acționare, iar la capetele izolatorului se află contactele mobile. În poziția deschis izolatorul mobil se sprijină pe un cuțit de contact nelegat electric în circuit.

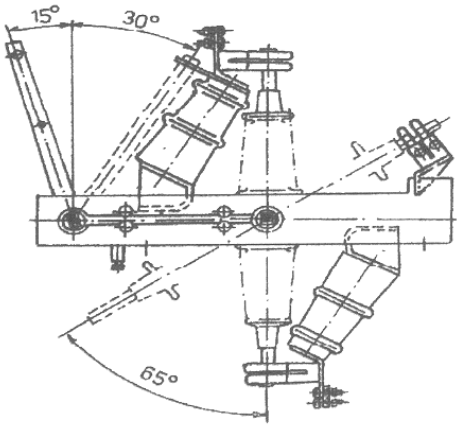


Figura 4.2. Separator rotativ.

Separatoarele de tip basculant se realizează cu un singur izolator

basculant sau cu două izolatoare basculante.

Manevra de închidere şi deschidere se realizează prin bascularea în plan vertical a izolatorului 6. Aceste separatoare au un gabarit redus faţă de separatoarele de tip cuţit, nu se deschid sub acţiunea forţelor electrodinamice, însă au inconvenientul unor legături flexibile lungi.

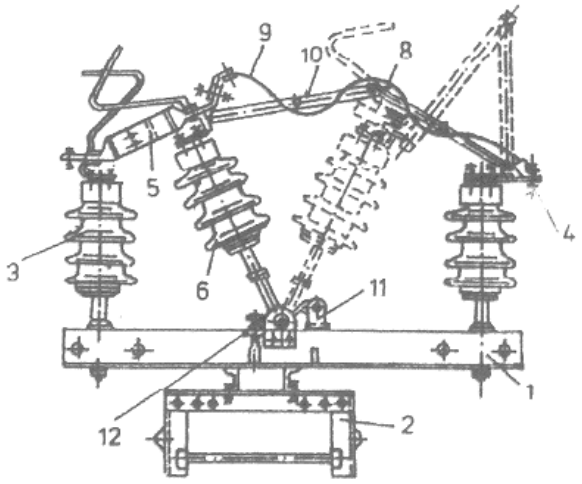


Figura 4.3. Separator basculant
1- cadru metalic, 2- suportul de fixare pe stâlp, 3- izolatoare suport, 4- borne de racord, 5- contact fix, 6- izolator basculant, 7- ghidaj legătură flexibilă, 8- contact mobil, 9- legătura flexibilă, 10- bare articulate, 11- manivele de acţionare, 12- limitatorul de cursă.

Separatoarele de sarcină sunt aparate de comutaţie capabile să deconecteze sarcina nominală dintr-un circuit şi apoi, în poziţia deschis, să asigure distanţa minimă de izolaţie între contactul fix şi cel mobil.

Separatoarele de sarcină se utilizează pentru:

– conectarea şi deconectarea bateriilor de condensatoare;

– înlocuirea întrerupătorului de putere în punctele din reţea în care puterea de scurtcircuit nu depăşeşte 30 MVA;

– conectarea şi deconectarea în gol a liniilor şi cablurilor.

Deoarece separatoarele de sarcină nu au capacitatea de a rupe curenţii de scurtcircuit, ele se utilizează înseriate cu siguranţe de mare putere de rupere (MPR). În acest caz siguranţa fuzibilă va asigura protecţia împotriva curenţilor de scurtcircuit, iar separatorul de sarcină, pe lângă conectarea şi deconectarea curenţilor nominali, va asigura (prin intermediul comenzii primite de la un releu) protecţia împotriva curenţilor de suprasarcină.

Spre deosebire de celelalte tipuri de separatoare, separatoarele de sarcină sunt prevăzute cu camere de stingere. În această categorie intră:

– separatoarele de sarcină cu autocompresie folosite la instalațiile de exterior (în tracțiunea electrică la căile ferate electrificate),

– separatoare de tipul SPTI folosite în celulele prefabricate.

Separatoarele de sarcină (figura 4.4.) se construieşte pentru tensiuni de 10 şi 20 kV şi curenți nominali de 200 şi 400 A, cu o putere de rupere de 7 MVA.

Figura 4.4. Separator de sarcină

Putem concluziona că separatoarele sunt aparate de comutație a circuitelor sub tensiune dar fără curent de sarcină, destinate a separa vizibil două părți din circuit, dintre care una aflată sub tensiune şi să asigure după separare o mare rezervă de izolație.

Separarea vizibilă este necesară din considerente de protecție a muncii în instalațiile electrice. De aceea acestor separatoare li se impun o serie de condiții cum ar fi:

– în poziția deschis să asigure distanțe de izolație suficiente pentru a proteja împotriva electrocutării personalul ce lucrează pe linia decuplată. Acest deziderat se realizează aplicând în construcția separatoarelor principiile de coordonare a izolației adică distanța de izolație între contactele deschise ale aceluiaşi pol, trebuie să fie mai mare decât distanța de izolație între borne şi suportul metalic al separatorului;

– să aibă stabilitate mecanică mare (cel puțin 2000 de manevre fără vreo urmă de uzură mecanică);

– să permită realizarea unor interblocări când se asociază cu întrerupătoare, pentru a putea fi acționate numai atunci când întrerupătorul este în poziția deschis.

4.2. SEPARATOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Normele de protecţia muncii cer ca lucrările de întreţinere şi reparaţii în instalaţiile de înaltă tensiune să se execute numai după ce circuitul în care se lucrează a fost deconectat şi izolat vizibil de restul instalaţiei. De asemenea, în instalaţiile electrice sunt necesare uneori manevre de conectare sau de deconectare a unor circuite fără curent (schimbarea sau separarea barelor, trecerea de la un generator sau transformator la altul etc.), fiind necesare aparate de conectare simple, cu construcţie robustă, cu manevrare uşoară şi poziţie uşor vizibilă. Pentru aceste scopuri se folosesc separatoarele de înaltă tensiune.

Separatoarele sunt aparate de comutaţie destinate conectării şi deconectării circuitelor sub tensiune, însă fără sarcină. Ele pot întrerupe şi curenţi de intensitate redusă, cum sunt curenţii de magnetizare (de mers în gol) ai transformatoarelor de putere mică sau curenţii nominali ai transformatoarelor de putere foarte mică.

Separatoarele de înaltă tensiune se realizează în numeroase tipodimensiuni, care se deosebesc prin parametrii nominali (tensiuni între 35 şi 750 kV, curenţi între 200 şi 6000 A), prin numărul de poli şi varianta constructivă.

Într-o instalaţie energetică separatorul permite efectuarea transferului de energie între sistemele de bare colectoare la plecări sau sosiri. Cu ajutorul separatoarelor se poate face cuplarea unei linii la unul din sistemele de bare colectoare.

4.2.1. Clasificarea separatoarelor de înaltă tensiune

Clasificarea separatoarelor de înaltă tensiune se poate face după numeroase criterii dintre care cele mai semnificative sunt:

A. După numărul de poli:

– monopolare;

– bipolare;

– tripolare.

B. După modul de deplasare a contactelor mobile:

– separatoare cu rotaţie în plan orizontal (tip cuţit), care au un contact fix şi un contact mobil, tip cuţit, ce se roteşte într-un plan ce conţine şi axele izolantelor polului respectiv;

– separatoare cu rotaţie în plan vertical, care au două contacte mobile ce se rotesc spre a se uni într-un plan perpendicular pe axele izolatoarelor suport ale polului;

– separatoare basculante, la care contactul mobil se basculează îm-

preună cu un izolator suport în planul axelor izolatoarelor suport ale polului;

– separatoare de translație, la care contactul mobil execută o mişcare de translație spre contactul fix;

– separatoare pantograf, la care contactul mobil, de o construcție specială, execută o mişcare după direcția axei izolatorului suport.

C. După absența sau prezența dispozitivului de legare la pământ:

– separatoare cu cuțite de legare la pământ;

– separatoare fără cuțite de legare la pământ.

Un separator este constituit din următoarele elemente principale: sistemul de contacte, sistemul izolator şi dispozitivul de acționare.

Sistemul de contacte conține un contact fix şi un contact mobil (cuțitul) sau două contacte mobile, constituind calea de curent a separatorului.

Contactele separatoarelor pot fi liniare, plate cilindrice şi de alte forme. Se construiesc din materiale bune conducătoare de electricitate, de preferință din cupru.

Elementele care conduc la alegerea diferențierea diferitelor tipuri de contacte sunt: densitatea de curent şi distribuția ei; condițiile de răcire a contactelor; efortul necesar pentru conectarea separatorului; factorul de uzură al materialului; reducerea acțiunii forțelor electrodinamice asupra cuțitelor. Pentru a micşora încălzirea contactelor, se realizează presiuni de contact corespunzătoare. La separatoarele construite pentru curenți nominali mari, cuțitul este constituit din mai multe bare paralele.

Sistemul izolator este constituit din izolatoarele suport ale contactelor: fix şi mobil, precum şi din tija izolantă care transmite mişcarea de la dispozitivul de acționare la cuțitul mobil.

Dispozitivul de acționare trebuie să asigure deschiderea şi închiderea completă a separatorului, contactele mobile trebuind să ajungă la sfârşitul cursei, independent de viteza de acționare.

Dispozitivele de acționare a separatoarelor, din punct de vedere al agentului de acționare se împart în: dispozitive manuale, dispozitive cu resorturi, dispozitive pneumatice, dispozitive de acționare electrică.

Acționarea manuală se realizează în modul cel mai simplu cu o prăjină, care este o tijă izolantă de lungime corespunzătoare, prevăzută la un capăt cu un vârf metalic. Acest vârf se introduce în urechea cuțitului separatorului şi se trage, trecând cuțitul din poziția „închis“ în poziția „deschis“.

La separatoarele grele se utilizează adeseori acționarea cu pârghii cu manetă sau cu roată de mână.

Pentru comanda la distanță a separatoarelor se folosesc acționările electrice sau pneumatice, care prezintă avantajul unei conectări fără şocuri, ceea ce este deosebit de important.

4.2.2. Separatoare rotative

În această categorie intră două tipuri de separatoare:

– **separatoare rotative** cu rotație **în plan orizontal**, având tensiuni nominale de la 35 kV la 220 kV, curenți nominal de 1250 A şi 1600 A;

– **separatore rotative** cu deschiderea cuțitelor **în plan vertical**, cu tensiunea nominală de 400 kV şi I_n=1600 A. Aceste separatore se execută numai în construcție monopolară iar când este necesară o variantă tripolară fazele se cuplează între ele cu tije de legătură.

Forma constructivă a unui separator rotativ cu mişcare de rotație în plan orizontal, de 100 kV este prezentată în figura 4.5., în detaliu fiind prezentată borna de legătură a separatorului. Izolatoarele suport 1 şi 2 pot pivota executând o mişcare de rotație de 90° sub acțiunea unui dispozitiv de acționare 3 (pneumatic sau electric). Pe tijele 4 şi 5 sunt montate contactele formate din cilindrul 6 şi piesele 7 şi 8 aşa cum rezultă din figură.

Piesa 9 reprezintă contactul fix al părții de legare la pământ a separatorului care poate ajunge în contact cu cuțitul separatorului de punere la pământ 10, numai atunci când contactele 6 respectiv 7, 8 sunt deschise. Pe cadrul pe care sunt montate coloanele de izolare se află şi dispozitivul de acționare, precum şi tijele de legătură, manivelele şi axele de acționare.

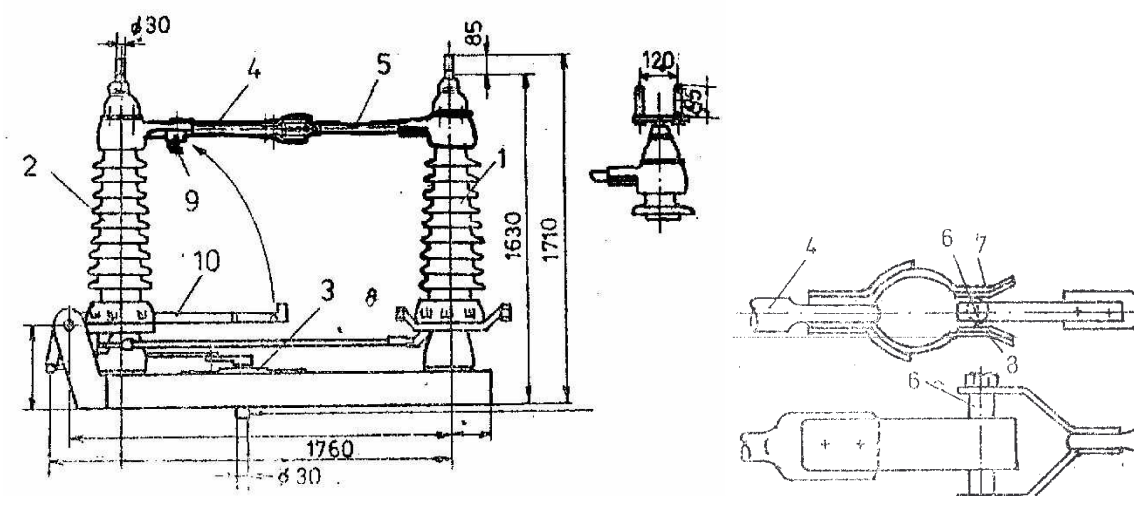


Figura 4.5. Separator cu mişcare de rotație în plan orizontal (de 110 kV),
1, 2- izolatoare suport, 3- dispozitiv de acționare, 4, 5- tije de acționare,
6- contact cilindric, 7, 8- piese de contact, 9- contact fix,
10- cuțit de punere la pământ

În cazul separatoarelor tripolare montarea fazelor se face alăturat una din cele trei faze fiind fază motoare, la care se cuplează dispozitivul de acționare așa cum se poate vedea în figura 4.6. Acționarea separatorului se face de la polul de mijloc, mișcarea transmițându-se celor două izolatoare ale fazei printr-o legătură în contrasens, iar la celelalte două faze printr-un sistem de transmisie patrulateră. Tot printr-un sistem patrulater sunt acționate cuțitele de punere la pământ ale separatorului de la axul de acționare. Deoarece în timpul rotației izolatoarelor unui pol, cuțitele port contact se aproprie de polii vecini, se poate utiliza şi pozare în linie.

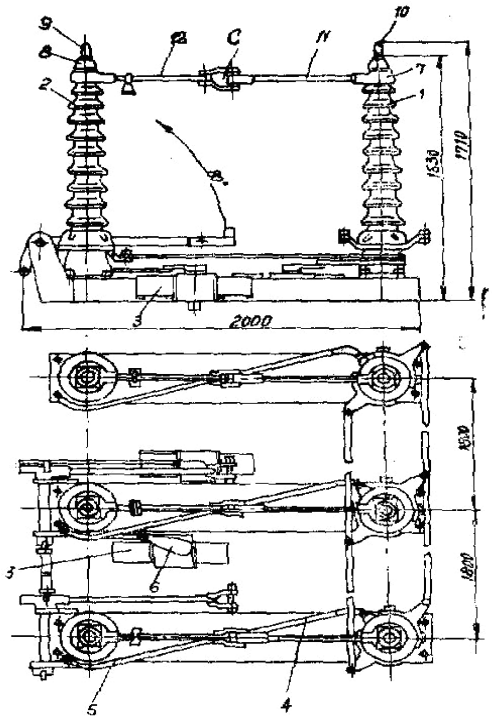


Figura 4.6. Separatoare tripolare de 110 kV
1, 2- izolatoare suport, 3- dispozitiv de acționare, 4,5- tijă acționare,
6,7- articulație, 8- piesă de contact, 9, 10- contacte fix,
11, 12- tije de acționare.

Din figura 4.6. se observă că acționarea se face de la unul din capete prin transmisie patrulateră. Pentru tensiuni mai mari de 220 kV această poziționare a separatoarelor conduce la mărirea gabaritului unei celule de înaltă tensiune şi de aceea separatorii monopolari se montează câte doi în linie şi al treilea în paralel cu primii, caz în care acționarea este independentă pe fiecare fază.

Toate separatoarele de tip rotativ au neajunsul că sunt solicitate la importante momente de încovoiere, şi necesită distanțe relativ mari între poli,

iar contactele de joncțiune ale liniei cu cupa izolatoare implică dificultăți constructive.

4.2.3. Separatoare de translație

Acest tip de separatoare se utilizează în instalațiile de distribuție de exterior la tensiuni peste 220 kV.

Schematic un asemenea separator este prezentat în figura 4.7.

Un pol al separatorului are două izolatoare suport, unul fix 1, iar celălalt mobil 2, montat pe un cărucior ce poate realiza o translație limitată pe două şine rectilinii. Contactul mobil 3 poate intra în contactul fix 4, ca urmare a apropierii izolatorului culisant 2 de cel fix 1. Separatorul mai este prevăzut cu inelele de protecție 5, conductorul de legătură 7 şi legătura flexibilă 6.

Mişcarea este asigurată cu ajutorul unui dispozitiv format din cablul flexibil 11 antrenat de servomotorul 8. Cuțitul de legare la pământ 9 este acționat cu un dispozitiv propriu cu motor electric 10.

Aceste separatoare prezintă o bună vizibilitate a separării, au însă o construcție complicată, legături flexibile lungi şi există posibilitatea de blocare a căruciorului în cazul depuneri de gheață pe şine.

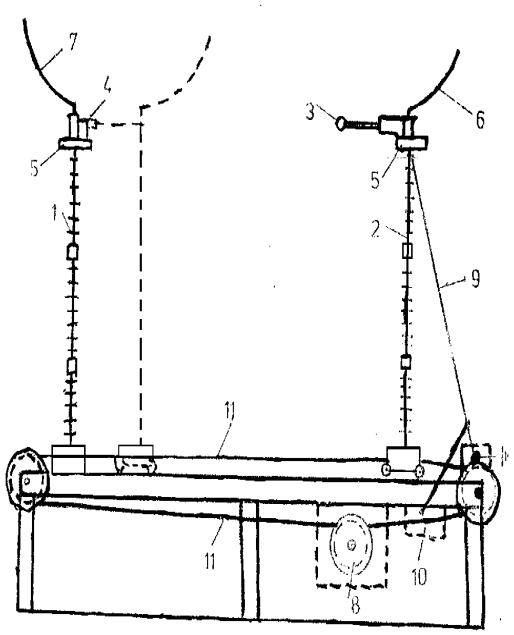


Figura 4.7. Separator cu mişcare de translație pentru tensiuni de peste220 kV

1- izolatorul suport al polului fix, 2- izolatorul culisant al polului mobil, 3- contactul mobil, 4- contactul fix, 5- inele de protecție, 6- legătura flexibilă, 7- conductor de legătură, 8- servomotor, 9- cuțit de împământare, 10- dispozitiv de antrenare cu motor electric, 11- cablu flexibil.

4.2.4. Separatoare pantograf

Aceste separatoare sunt utilizate în instalațiile de foarte mare tensiune (220kV < U_n < 750kV) având o construcție robustă şi îndeplinind cele mai ridicate exigențe cerute de o bună siguranță în exploatare.

Față de celelalte tipuri de separatoare prezentate, separatorul pantograf prezintă o serie de avantaje cum ar fi: reducerea suprafeței ocupate de separator în plan orizontal; o supraveghere mai bună a elementelor instalației (permițând o observare clară şi rapidă a elementelor aflate sub tensiune față de cele scoase de sub tensiune); siguranță mare la conectare şi deconectare în orice condiții atmosferice şi siguranță totală împotriva deschiderilor intempestive.

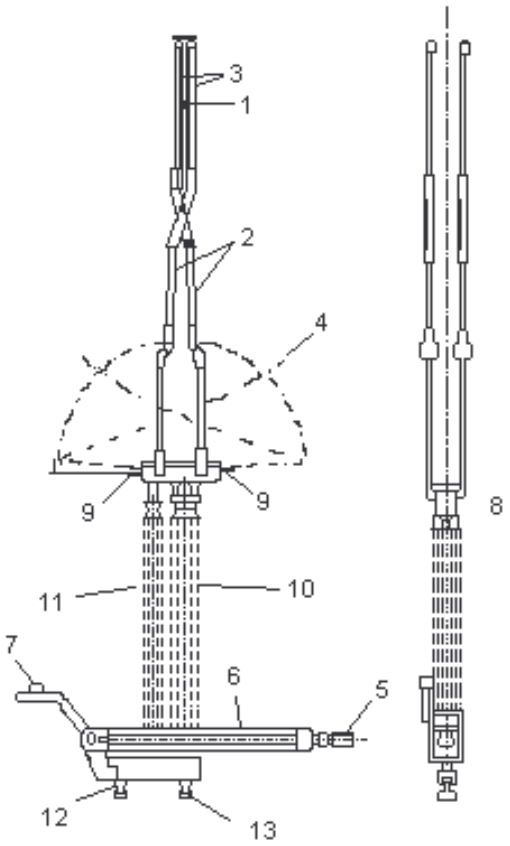


Figura 4.8. Separator pantograf pentru 420 kV

1- contact fix de racord, 2- pantograf, 3- contacte mobile tip foarfecă,
4- poziția deschisă a pantografului, 5- contact racord, 6- braț portcontact,
7- ontragreutate, 8- contact fix de punere la pământ, 9- borne racord,
10- izolatoare suport, 11- coloană izolatoare,
12, 13- arbori racordați la mecanismului de acționare.

Contactul de racord 1 se montează pe linia conductoare a staţiei exterioare fiind format dintr-o bară de cupru. Pantograful propriu zis 2 este format dintr-un sistem de bare articulate, confecţionate din duraluminiu, având configuraţia unei foarfeci care se termină la capete cu contactele mobile 3, prevăzute cu un dispozitiv de spargere a gheţii şi cu câte o emisferă în partea superioară. Rolul emisferelor este să amelioreze repartiţia neuniformă a câmpului electric în lungul pantografului şi să evite efectul corona.

În poziţia închis separatorul asigură racordul electric între linia 1 aflată în planul superior şi linia electrică aflată în planul inferior, racordată la bornele 9, între care există o diferenţă de nivel de aproximativ 5 m la o tensiune de 420 kV.

Cu linie punctată 4 s-a reprezentat poziţia pantografului când separatorul se află în poziţie deschis. În această poziţie linia din planul inferior este legată la pământ ca urmare a atingerii dintre contactul mobil 5 şi cel fix 8 de punere la pământ. Coloana de izolatoare suport 10 susţine separatorul, iar acţionarea cuţitelor principale se realizează ca urmare a mişcării de rotaţie transmisă prin coloana izolatoare 11 de la arborele 12 racordat la mecanismul de acţionare a cuţitelor principale. Acţionarea cuţitelor de punere la pământ este efectuată de către un dispozitiv de acţionare separat racordat la arborele 13, contragreutatea 7 diminuând prin echilibrare cuplul necesar rotirii braţului 6 ce susţine contactul 5. Între mişcările cele două dispozitive de acţionare există o corelare. Acţionarea acestor separatoare se face pneumatic.

4.2.5. Separatoare de secţionare şi punere la pământ

Separatoarele de secţionare sunt aparate cu deconectare automată, comandate de aparate de protecţie, destinate separării de la reţea a sectoarelor avariate. Secţionarea se face în lipsa curentului, în timpul pauzei de curent determinată de funcţionarea unui dispozitiv de reanclanşare automată rapidă (R.A.R.).

Separatoarele de punere la pământ şi de scurtcircuit sunt aparate care realizează legarea automată a unei reţele electrice la pământ în caz de avarie, prin realizarea unui scurtcircuit artificial ce determină deconectarea reţelei prin intermediul întrerupătorului.

Constructiv aceste aparate sunt separatoare de tip cuţit, iar modul lor de funcţionare este ilustrat în figura 4.9. Pe suportul metalic 1 se află izolatorul 2 având pe flanşa superioară contactul fix 3, prevăzut cu borne pentru racordarea la conductoarele liniei.

Dispozitivul de acţionare comandă cuţitul mobil 4, din ţeavă de oţel sudată pe axul 5, care se roteşte în lagărele 6. Pârghia 7 este folosită în cazul acţionărilor manuale. Legătura electrică 8 asigură trecerea curentului de la contactul mobil la rama metalică legată la pământ.

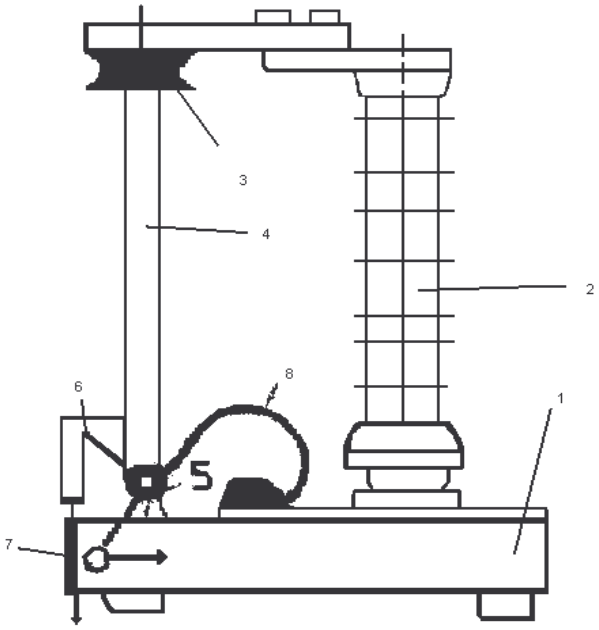


Figura 4.9. Separator de punere la pământ tip cuţit

1- suport metalic, 2- izolator, 3- contact fix, 4- cuţitul mobil, 5- ax, 6- lagăr, 7- pârghie, 8- legătura electrică flexibilă.

Pentru a exemplifica modul de utilizare al separatoarelor de secţionare şi al separatoarelor de punere la pământ şi de scurtcircuit în figura 4.10 este prezentată o schemă electrică de alimentare a liniilor L_1 şi L_2 prin intermediul unor transformatoare T_1 şi T_2, a întrerupătoarelor Q_1, Q_2 şi Q_3, de la un sistem de bare de 110 kV.

Transformatoarele T_1 şi T_2 nu sunt racordate la reţea prin întrerupătoare, ci prin separatoare de secţionare S_1 şi S_3. În cazul în care se produce o avarie la linia L_1 sau la transformatorul T_1, protecţia prin relee comandă închiderea separatorului de punere la pământ S_1, producând în mod artificial un scurtcircuit monofazat, care duce la declanşarea întrerupătorului principal Q_1. După întreruperea curentului de scurtcircuit, elementul defect este separat cu separatorul de secţionare S_1, apoi sub acţiunea dispozitivului RAR, întrerupătorul Q_1 se reînchide şi celelalte plecări sunt realimentate.

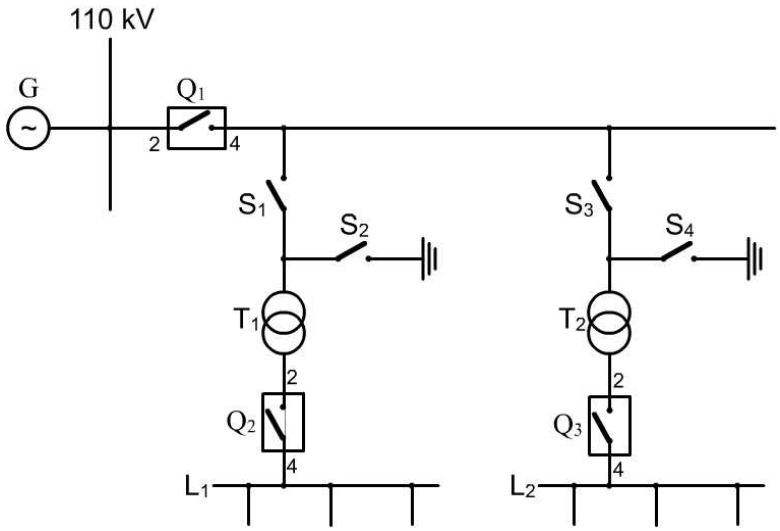


Figura 4.10. Funcționarea separatoarelor de secționare şi punere la pământ

Separatorul de secționare împreună cu separatoarele de punere la pământ şi scurtcircuitare oferă o simplificare a schemelor de înaltă tensiune, asigurând separarea automată a sectorului avariat şi protecția personalului de intervenție.

4.3. CONTACTOARE DE MEDIE TENSIUNE

Contactoarele de medie tensiune au acelaşi rol în instalațiile electrice ca şi contactoarele de joasă tensiune. Ele se construiesc pentru tensiuni nominale de până la 10 kV, curenți nominali de până la 1 kA şi cu puteri de rupere de până la 20 MVA.

Contactoarele de medie tensiune se folosesc la comanda motoarelor asincrone şi sincrone de putere, la alimentarea cuptoarelor electrice şi a bateriilor de condensatoare.

Pentru protecția circuitelor comandate prin contactoare de medie tensiune se folosesc: siguranțe fuzibile (pentru protecția la scurtcircuit), relee termobimetalice (pentru protecția la suprasarcină) şi relee electromagnetice (pentru protecția maximală de curent şi tensiune).

Contactoarele de medie tensiune permit acționări cu frecvență ridicată de până la 200 conectări pe oră (superioară celei cu întrerupătoare de medie tensiune).

După **principiul de stingere a arcului electric** contactoarele de medie tensiune se clasifică astfel:

– contactoare de medie tensiune cu suflaj magnetic, la care arcul electric este stins în camere de stingere cu efect deion şi suflajul magnetic.

Se construiesc astfel de contactoare pentru tensiuni nominale de 7,2 kV şi curenţi nominali de 10, 20, 30, 45, 63, 75 şi 100 A. Elementul de acţionare este un electromagnet de tip plonjor.

– contactoare de medie tensiune în vid care folosesc ca metodă de stingere a arcului electric principiul vidului avansat. Aceste contactoare reprezintă la ora actuală soluţia optimă.

4.3.1. Contactoare de medie tensiune în vid

Principiul vidului avansat constituie soluţia de viitor pentru comutaţia la medie tensiune. Aparatele bazate pe acest principiu pot fi utilizate pentru comutarea atât a circuitelor cu sarcini inductive, cum sunt motoarele de inducţie, cât şi a celor capacitive, cum sunt bateriile de condensatoare. De asemenea având în vedere faptul că arcul se dezvoltă într-o incintă închisă, contactoarele în vid pot fi folosite în medii cu pericol de explozie (întreprinderi miniere sau chimice). Principiul vidului avansat se bazează pe două proprietăţi de bază ale vidului şi anume: rigiditatea dielectrică foarte mare la distanţe extrem de reduse între contacte şi dezvoltarea arcului electric în vaporii metalici proveniţi din eroziunea fină a elementelor de contact.

Arcul electric format la separarea elementelor de contact este o plasmă de vapori metalici care se dezvoltă în vid avansat. Caracteristica arcului electric în vid avansat este difuzia extrem de rapidă a vaporilor metalici, care în contact cu pereţii reci ai unui ecran condensator se condensează şi astfel vidul este refăcut.

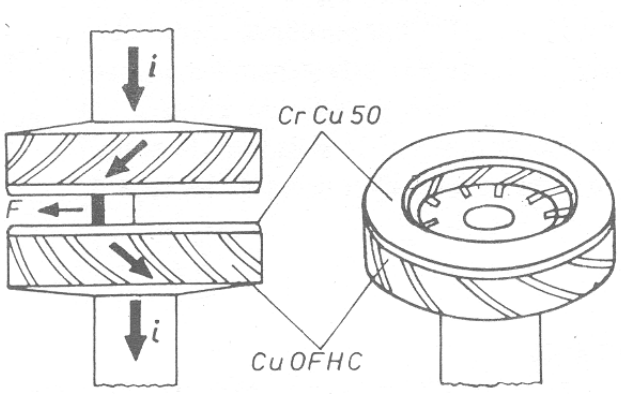


Figura 4.11. Contactele contactorului cu vid

În camera de stingere întreruperea arcului electric nu durează mai mult decât o semiperioadă şi ca urmare energia dezvoltată de arcul electric este relativ mică, iar încălzirea contactelor şi a camerei de stingere este redusă.

Aceste camere de stingere în vid au tendința de a tăia curentul din arcul electric, astfel că stingerea arcului se poate produce înaintea trecerii curentului prin 0. Din această cauză condițiile normale pe care trebuie să le îndeplinească contactele de stingere a arcului electric în vid constau în cerința ele să poată dezvolta în prezența arcului electric o cantitate suficientă de vapori metalici pentru a nu se produce smulgerea timpurie a curentului. Presiunea de lucru în aceste camere de stingere este de aproximativ 10^{-7} bar.

Elementele de contact se realizează din pseudoaliaje Cr-Cu sau W-Cu, în scopul eliminării tendinței de lipire care există la contactele realizate din metale dure conductoare. Tăieturile realizate înclinat în suporturile pieselor de contact, la apariția arcului, electric determină forțe electrodinamice care rotesc piciorul arcului electric pe suprafața circulară a elementului de contact.

Prin această soluție constructivă piciorul arcului electric devine foarte mobil pe suprafața contactului, evitând eroziunea lui. Datorită distanțelor mici între contacte intensitatea câmpului magnetic este extrem de mare. Astfel, înainte de străpungere la o distanță de 5 mm între contacte intensitatea câmpului electric este E = 340 kV/cm, în ipoteza unui câmp omogen. La asemenea intensități ale câmpului electric format, dimensiunile şi gradul de prelucrare al suprafețelor de contact joacă un rol foarte important. În acest sens asperitatea suprafețelor erodate de arcul electric constituie un factor de influență a timpului de ardere a arcului electric.

Proprietățile dielectrice ale vidului tehnic din camera de stingere a contactorului sunt rigiditatea dielectrică la presiuni reduse de 10^{-4}-10^{-6} mm Hg este apreciabil mai mare decât a aerului în condiții normale. Forma şi dimensiunile electrozilor au şi ele o influentă aspra valorii tensiunii de străpungere.Presiunea în recipient în limitele $10^{-4} – 10^{-6}$ mm Hg nu are nici o influență asupra tensiunii de străpungere , dacă distanța între electrozi este de ordinul mm sau a fracțiunilor de mm. Dacă însă aceste distanță are valori de ordinul cm, se constată o rigiditate dielectrică sporită către 5×10^{-4} mm Hg.

În figura 4.12. se prezintă schematic un contactor în vid în poziția deschis. Această poziție este asigurată de resoartele antagoniste 2. Pentru acționare se excită bobina electromagnetului 1, ceea ce determină rotația pârghiei 5 în jurul axului O. În acest fel contactul mobil se închide peste cel fix asigurând continuitatea circuitului electric de la A la B. Forța de apăsare pe contacte este asigurată de resortul 3. În interiorul camerei de stingere 4 unde se află contactele este realizat vidul astfel ca stingerea arcului se produce rapid, prin smulgere de curent. Pentru deschiderea contactorului se opreşte alimentarea bobinei electromagnetului 1 iar resoartele 2 produc o deschiderea contactelor cu o viteză aproximativ 0,3 m/s.

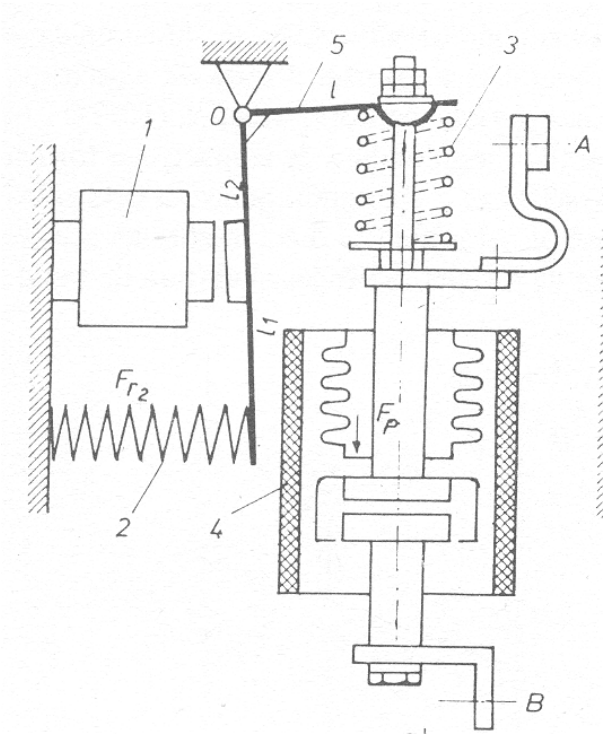


Figura 4.12. Contactor cu vid

1- electromagnet de acționare, 2- resoarte antagoniste,
3- resort pentru asigurarea presiunii pe contacte, 4- cameră de stingere,
5- pârghie, A, B-borne.

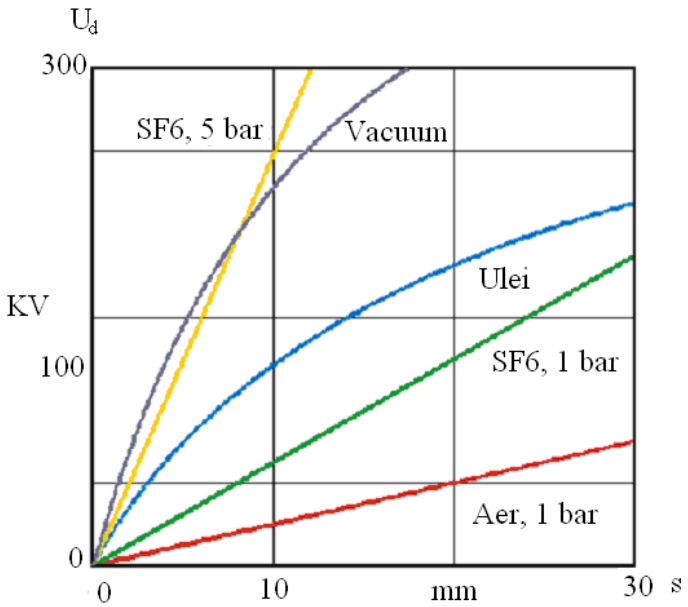


Figura 4.13. Dependența timpului de comutație de tensiunea de comutație

4.4. ÎNTRERUPĂTOARE DE MEDIE TENSIUNE

Întrerupătoarele electrice sunt aparate cu ajutorul cărora se realizează operațiile necesare de conectare şi de deconectare atât în condiții normale de lucru, cât şi în condiții de avarie.

Ținându-se cont că aceste aparate trebuie să rupă curenți cu intensități foarte mari care pot apărea frecvent în rețelele electrice, ele se caracterizează, în afara parametrilor nominali comuni tuturor aparatelor electrice de comutație (curent nominal, tensiune nominală, frecvența de lucru, curent limită dinamic, curent limită termic), şi printr-o altă mărime nominală specifică, ce defineşte proprietățile de comutație şi care se numeşte capacitate nominală de rupere în scurtcircuit. Ea reprezintă cel mai mare curent de scurtcircuit (valoare efectivă) pe care un întrerupător este capabil să-l întrerupă în condiții de utilizare şi funcționare prescrise.

Întrerupătorul de putere, de medie tensiune este un aparat de comutație destinat să conecteze, să suporte şi să deconecteze curenții nominali de serviciu, să conecteze, să suporte o durată bine determinată şi să deconecteze curenții de suprasarcină, sau de scurtcircuit.

În funcție de principiul de stingere utilizat şi respectiv de natura mediului în care are loc stingerea arcului electric, întrerupătoarele de medie tensiune se clasifică în următoarele categorii:

– întrerupătoare cu ulei mult (IUM), la care uleiul mineral îndeplineşte atât rolul de mediu de stingere al arcului electric de comutație, cât şi pe cel de mediu de izolație între piesele metalice aflate la tensiuni diferite. Având dezavantajul folosirii unor cantități mari de ulei aceste tipuri de întrerupătoare nu se mai fabrică.

– întrerupătoare cu ulei puțin, care folosesc uleiul numai ca mediu de stingere, izolația dintre piesele metalice aflate la tensiuni diferite asigurându-se prin materiale dielectrice solide.

– întrerupătoare ortojectoare sunt variante îmbunătățite ale întrerupătoarelor cu ulei puțin, care folosesc ca metodă de stingere a arcului electric principiul suflajului cu jet de lichid, obținându-se performanțe îmbunătățite ale acestora.

– întrerupătoarele cu aer comprimat, folosesc aerul comprimat atât ca mediu de stingere al arcului electric, cât şi pentru obținerea energiei necesare acționării întrerupătorului în timpul închiderii sau deschiderii acestuia.

– întrerupătoare cu hexaflorură de sulf (SF_6) asigură obținerea unor performanțe ridicate în ceea ce priveşte capacitatea de rupere, siguranța în funcționare, eliminarea pericolului de explozie sau incendiu şi gabaritul redus.

Aceste întrerupătoare reprezintă soluția optimă pentru întrerupătoarele

de înaltă tensiune dar se folosesc frecvent şi în comutaţia de medie tensiune.

– întrerupătoare în vid, care folosesc ca principiu de stingere a arcului electric difuziunea rapidă în vid avansat a purtătorilor de sarcină electrică din coloana arcului de comutaţie. Datorită distanţelor mici între contacte, asigurarea unor timpi reduşi de acţionare, a unei siguranţe în funcţionare şi a unui gabarit mult mai mic decât al celorlalte întrerupătoare, aceste întrerupătoare se recomandă ca soluţia optimă pentru medie tensiune.

4.4.1. Întrerupătoare cu vid

Întrerupătoarele în vid, au fost utilizate iniţial în tehnica curenţilor slabi pentru a realiza relee cu un timp de răspuns cât mai redus. În ultimii ani construcţia întrerupătoarelor cu vid a evoluat, iar parametrii au crescut către valori mai mari ale tensiunilor si curenţilor nominali.

În vid rigiditatea dielectrică la tensiuni relativ mari (peste 15 kV) este asigurată la distanţe relativ mici între contacte (2,5mm). La separarea contactelor arcul electric vaporizează metalul electrozilor. Vaporii metalici se difuzează rapid în vid, ţinând seama că presiunea este de $10^{-4} – 10^{-6}$mm Hg şi apoi se condensează în contact cu pereţii recipientului. Astfel vidul se reface, iar aparatul este din nou în stare de funcţionare.

Aceste aparate sau dezvoltat din necesitatea de a satisface cerinţele din exploatare şi anume de a dispune de un aparat autonom (fără fluide şi instalaţii auxiliare), cu cheltuieli reduse de exploatare şi capabil să deconecteze atât curenţi mici inductivi cât şi sarcinile capacitive, fiind superior celorlalte tipuri de întrerupătoare de medie tensiune.

Asemenea întrerupătoare se construiesc pentru tensiuni nominale $U_n = 7,2 \div 25$kV, curenţi nominali $I_n = 630 \div 2500$ A şi capacităţi de rupere $I_r = 8 \div 50$ kA.

În prezent, cercetările pentru dezvoltarea întrerupătoarelor în vid se dirijează către: capacitate de rupere cât mai ridicată; capacitate de conectare cât mai ridicată, cu eliminarea pericolului de sudare a contactelor şi eliminarea migraţiei de material.

Datorită distanţei mici între contacte cu imposibilitatea unei frânări sau culisări într-o tulipă conduce la pericolul vibraţiei contactelor la închidere. Din această cauză, unele întrerupătoare în vid au contacte din material dur (sinterizate de W) cu punct de topire ridicat. Dar un astfel de contact duce la întreruperea curentului înaintea trecerii naturale prin 0 şi anume la valori de ordinul 50A, ceea ce determină supratensiuni de comutaţie foarte importante.

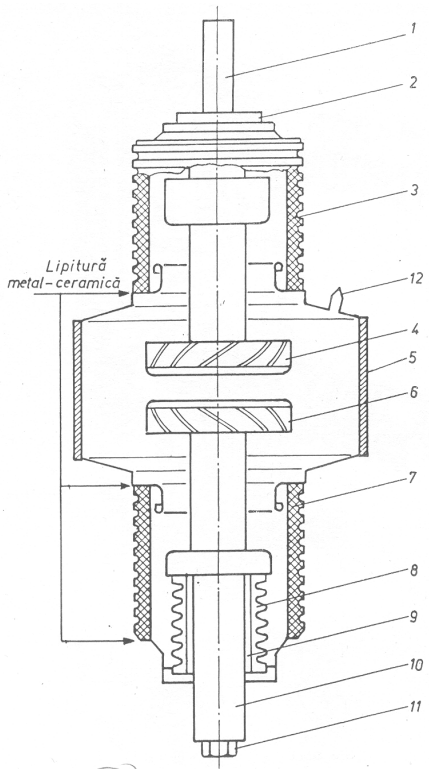


Figura 4.14. Camera de stingere a unui întrerupător cu vid

1- piesă fixare contact, 2- şaiba piesei fixe de contact,
3, 7- izolatori ceramici, 4- piesă fixă de contact, 5- ecran metalic,
6- contact mobil, 8- burduf metalic, 9- ghidaj, 10- piesă de contact,
11- racord mecanic la sistemul de acționare,12- racord de vidare.

Prin realizarea unor contacte din combinații de materiale, sau chiar utilizarea cuprului în forme speciale poate reduce curentul de întrerupere la valori mici, de exemplu 1A.

Întrerupătorul în vid este indicat pentru deconectarea sarcinilor capacitive şi în acest domeniu are o utilizare industrială, întrucât rigiditatea dielectrică se reface în întrerupător extrem de rapid.

Cercetările asupra arcului electric în vid arată că până la aproximativ 10 kA arcul electric constă din mai multe arcuri electrice elementare ale căror picioare au o mare mobilitate pe electrod. La valori mai mari ale curentului, aceste arcuri se unesc într-unul singur, care stă fixat pe electrod, şi deci cu efect termic local extrem de pronunțat. Deci numai prin adoptarea unei construcții speciale ca cea prezentată în figura 4.14. electrodul poate rezista acțiunii arcului electric deoarece şi la valori mari ale curentului în arc, acesta se deplasează pe suprafața electrodului.

Întrerupătorul în vid se fabrică în serii la puteri mici şi medii, de exemplu 300 MVA sau 12 kA la 14,4 kV cu un curent nominal de 600 A.

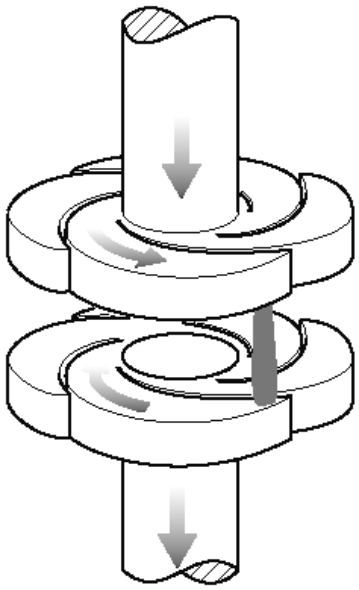


Figura 4.15. Contacte rotitoare cu suflaj radial pentru întrerupătoare cu vid

Calitățile de bază ale întrerupătorului cu vid constau în rapiditatea acționării, datorită distanței mici între contacte, volumul mic ocupat în raport cu aparatele clasice, consumul redus de materiale active şi lipsa de zgomot la deconectare

4.4.2. Mecanisme de acționare a întrerupătoarelor de medie tensiune

Aceste mecanisme sunt ansamble distincte sau incluse în întrerupătoarele de medie tensiune şi au rolul de a transmite energia de acționare la contactele mobile ale întrerupătorului. Energia necesară este relativ mare pentru a asigura viteza mare de deplasare a contactelor la deconectarea curenților de scurtcircuit.

Mecanismele de acționare trebuie să mențină întrerupătorul blocat în po-ziția deschis şi închis, după caz, în orice condiții de funcționare (vibrații, trepidații, trecerea curentului de scurtcircuit de şoc).

Din punct de vedere al modului de înmagazinare şi de eliberare a energiei, mecanismele de acționare ale întrerupătoarelor de medie tensiune pot fi clasificate astfel:

– mecanisme de acționare cu acumulare de energie în resoarte (de tipurile constructive MR, MRL, MRI), la care prin intermediul unui ax acționat de un electromotor (sau manual cu o manivelă), energia potențială se înmagazinează în resoartele de închidere ale întrerupătorului.

La primirea comenzii de închidere o parte din această energie este utilizată pentru închiderea întrerupătorului, iar cealaltă parte serveşte la armarea resortului de deschidere;

– mecanisme de acţionare cu electromagnet solenoidal (DSI), care folosesc ca sursă de acumulare a energiei în resoarte un electromagnet de curent continuu tip plonjor;

– mecanisme de acţionare pneumatice, care folosesc energia potenţială înmagazinată în aerul comprimat (MPI).

Dintre mecanismele prezentate anterior cele mai utilizate sunt mecanismele cu acumulare de energie în resoarte.

Elementele principale ale acestor mecanisme (indiferent de tipul constructiv) sunt: sistemul de acumulare a energiei; sistemul de transmitere a energiei; sistemele de clichetare şi declichetare; sistemele de semnalizare şi blocaj.

Sistemul de acumulare a energiei se compune dintr-un motor electric conectat la reţeaua de tensiune operativă ce transmite mişcarea axului principal printr-un sistem de transmisie (roţi dinţate şi lanţ, sau angrenaj melc-roată melcată). Acumularea energiei se face în două resoarte tensionate simultan în paralel (la unele tipuri acumularea se asigură printr-un singur resort). Dispozitivul permite şi armarea manuală operativă a resoartelor cu ajutorul unei manivele amovibilă. La aceste mecanisme acumularea de energie se realizează lent, iar eliberarea brusc (de exemplu la acumulare t = 5s şi la eliberare t' = 0,1 s).

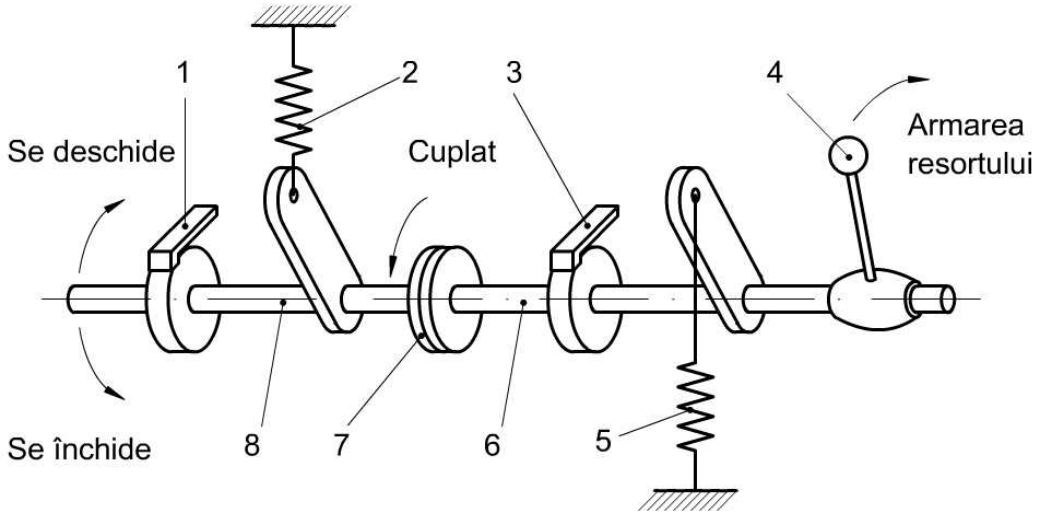


Figura 4.16. Mecanism de acumulare a energiei în resoarte MRI

1, 3- zăvoare, 2- resort de deschiderea, 4- manetă de armare, 5- resort, 6, 8- axuri, 7- cuplă.

În figura 4.16. este prezentat mecanismul cu acumulare de energie în resoarte de tip MRI. Axul principal are două părți distincte: axul de armare 6, solidar permanent cu resortul de închidere 5 şi axul întrerupătorului 8, solidar permanent cu resortul de deschidere 2. Aceste două axe se pot roti independent pe durata acumulării energiei şi respectiv a deschiderii, fiind solidare între ele prin intermediul cuplei 7 numai pe durata închiderii.

Operația de armare constă în tensionarea resortului 5 prin rotirea axului 6, şi blocarea prin sistemul de clichetare 3. Prin cupla 7 se realizează solidarizează axul 6 cu axul 8. Pentru închiderea întrerupătorului se comandă clichetul 3 care duce la tensionarea resortului 2. La deschiderea întrerupătorului se comandă clichetul 1 iar cupla 7 desolidarizează axele 6 şi 8.

Aceste mecanisme sunt cu liberă deschidere deoarece există prioritatea deschiderii față de închidere.

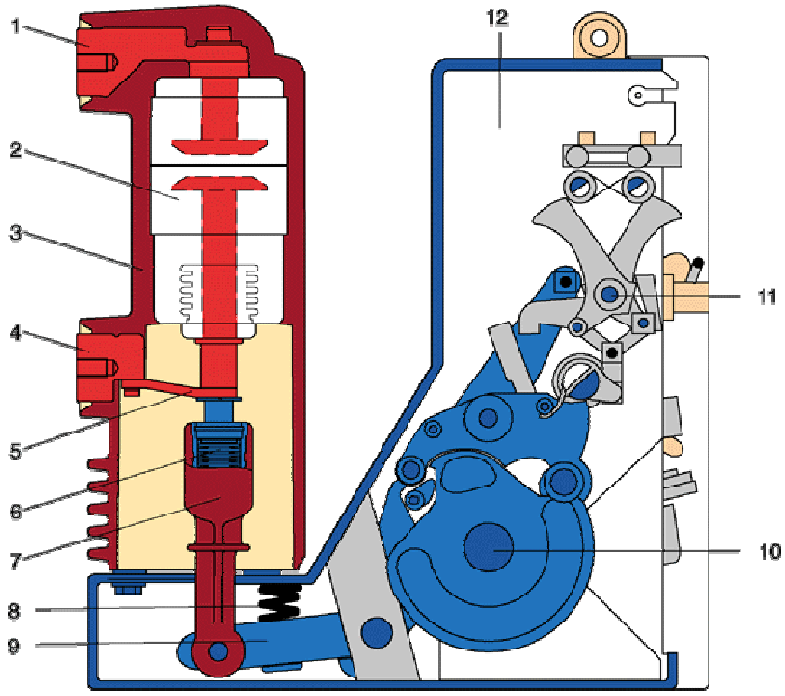


Figura 4.17 Mecanism de acționare cu electromagnet şi resoarte pentru întrerupătoare cu vid de medie tensiune
1,4-Borne, 2-Cameră de stingere cu vid,
3-Anvelopa camerei de stingere, 5-Conductor, 6,7-Tije acționare,
8-Resort, 9-Tijă acționare, 10-Ax, 11-Plonjor, 12-Carcasă.

Acționarea întrerupătoarelor cu vid cu sisteme cu resoarte armate electromagnetic, reprezintă soluția optimă la ora actuală din punct de vedere al: gabaritului, randamentului, anduranței şi fre3cvemnței de conectare.

4.5. ÎNTRERUPĂTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Întrerupătoarele de înaltă tensiune sunt aparate electrice automate destinate comutației circuitelor de înaltă tensiune parcurse de curent. Sarcinile principale a acestor întrerupătoare sunt operațiile de stabilire şi întrerupere a curentului de sarcină normală, la intervenția voită a operatorului şi să întrerupă cât mai rapid în mod automat, curenții de scurtcircuit în urma comenzilor primite de la protecția prin relee (declanşatoare). La nevoie aceste întrerupătoare trebuie să poată îndeplinii şi operația de reanclanşare automată rapidă, imediat după prima deconectare, sub acțiunea comenzii primite de la dispozitivele RAR.

Cea mai importantă caracteristică a întrerupătoarelor, care determină construcția camerei de stingere este capacitatea de rupere (I_r). Ea reprezintă cea mai mare valoare a curentului de scurtcircuit pe care întrerupătorul îl poate întrerupe în condiții specificate de norme. Capacitatea de conectare este cel mai mare curent de scurtcircuit, în valoare momentană, care poate fi conectat de întrerupător, fără ca acesta să sufere deteriorări specifice. Puterea de rupere P_r, definită prin relația (4.1.) este o mărime convențională, care permite compararea, a unor variante constructive diferite. Timpul propriu de întrerupere (T_{pa}) este intervalul de timp dintre momentul închiderii circuitului electromagnetic de declanşare a dispozitivului de acționare şi momentul începerii separării contactelor de rupere ale întrerupătorului. Timpul de întrerupere (T_t) este format din timpul propriu de întrerupere (T_{pa}) şi durata de ardere a arcului electric în camera de stingere a întrerupătorului (T_a). Timpul total va fi egal cu $T_t = T_a + T_{pa}$.

Timpul de închidere ($T_{î}$) al unui întrerupător este intervalul de timp de la aplicarea impulsului de închidere până în momentul atingerii contactelor.

Conform normelor timpul total T_t trebuie să fie cât mai mic (< 0,08 s) pentru întrerupătoarele cu acțiune rapidă respectiv 0,15 s pentru întrerupătoarele cu acțiune accelerată şi 0,25 s pentru întrerupătoarele normale.

Din punct de vedere a tensiunii nominale întrerupătoarele de înaltă tensiune se clasifică după tensiunea nominală a rețelei în care funcționează. Modulul de bază pentru întrerupătoare de înaltă tensiune este întrerupătorul cu tensiunea nominală de 123 kV destinate rețelelor electrice de 110 kV, care dispun de o capacitate de rupere corespunzătoare unei puteri de rupere de 10000 MVA. Deoarece întrerupătoarele pentru rețelele de 220, 400 şi 750 kV se obțin prin metoda modulelor, înseriindu-se mai multe dispozitive de stingere a arcului electric identice, s-au atins cu modulele de 123 kV puteri de

rupere de până la 60000 MVA sau chiar 100000 MVA.

Principalul mod de clasificare a întrerupătoarelor electrice de înaltă tensiune este cel după principiul şi mediul de stingere a arcului electric. Din acest punct de vedere există următoarele categorii de întrerupătoare:

– întrerupătoarele cu stingerea arcului electric în mediu lichid : ulei mineral sau apă;

– întrerupătoare cu stingerea arcului electric în mediu gazos: aer sau hexaflorură de sulf (SF_6);

– întrerupătoare cu stingerea arcului electric în vid.

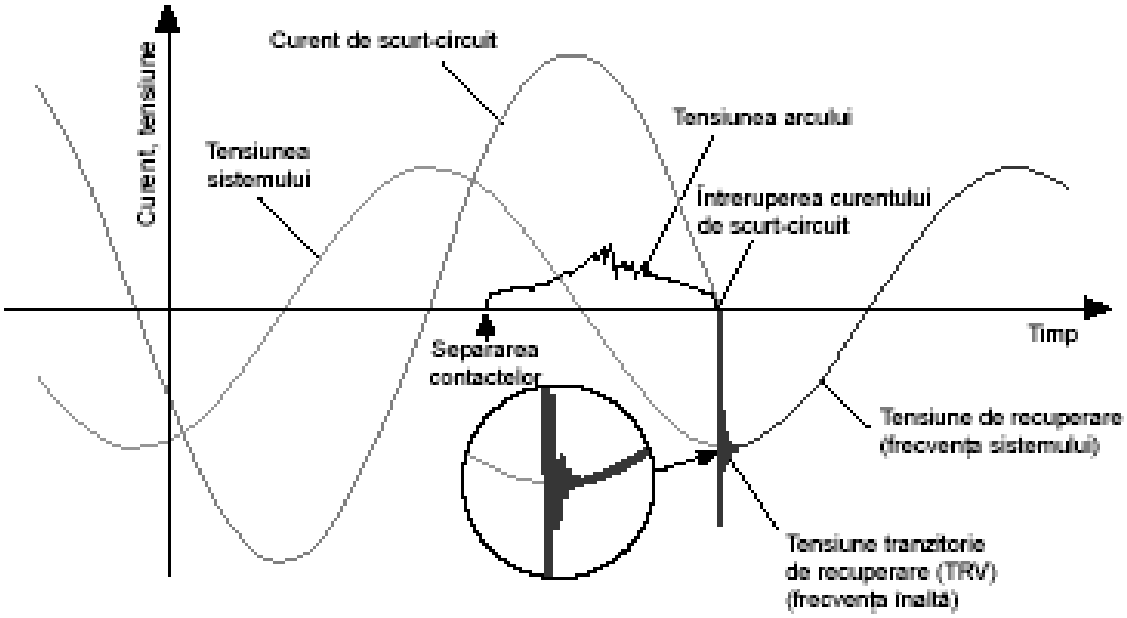


Figura 4.18. Variația parametrilor electrici în comutație

Întrerupătoarele **electrice cu ulei** sunt încă cele mai utilizate întrerupătoare, a căror evoluție a coincis cu dezvoltarea producerii, transportului şi distribuției energiei electrice. Funcționarea lor se bazează pe proprietatea uleiurilor minerale de a se descompune sub acțiunea temperaturii înalte a arcului electric, degajând o mare cantitate de gaze, formată din hidrogen (peste 70%), metan, etilenă etc. Presiunea creată, proprietatea hidrogenului de a fi bun conducător de căldură, precum şi turbulența uleiului, exercită o puternică acțiune de răcire şi de deionizare a coloanei arcului electric, producând astfel stingerea acestuia la trecerea curentului prin valoarea zero (după câteva semiperioade ale curentului).

Întrerupătoarele **cu aer comprimat** provoacă stingerea arcului electric cu ajutorul unui jet de aer comprimat, debitat în zona de ardere a arcului de o sursă de energie externă, formată într-o instalație de compresoare cu rezervor

de aer comprimat.

Jetul de aer are o presiune mare şi se deplasează cu viteză mare, apropiată de viteza sunetului, longitudinal sau transversal pe coloana arcului electric având următoarele efecte: în timpul arderii arcului electric, răceşte intens coloana acestuia şi antrenează particulele încălzite şi ionizate, înlocuindu-le cu particule proaspete, răcite. Răcirea coloanei arcului electric până la temperaturi de aproximativ 2000°C conduce, practic, la încetarea ionizării termice, ceea ce favorizează foarte mult stingerea arcului electric. În timpul trecerii curentului electric prin zero, jetul de aer comprimat răceşte în continuare coloana arcului rezidual şi antrenează particulele ionizate, rămase în spaţiul dintre contacte. Răcirea este cu atât mai importantă, cu cât suflajul, în timpul arderii arcului electric, a fost mai energic. După stingerea arcului electric, prin scăderea bruscă a temperaturii coloanei arcului, se creează rigiditatea dielectrică necesară, şi care este cu atât mai mare cu cât presiunea jetului de aer comprimat este mai înaltă.

Întrerupătoarele **cu hexaflorură de sulf** realizează stingerea arcului electric după un principiu nou, care urmăreşte să efectueze deionizarea coloanei arcului electric prin capturarea electronilor liberi şi frânarea, în acest mod, a proceselor de ionizare. Hexaflorură de sulf -SF_6- este un gaz electronegativ ale cărui molecule au o afinitate mare pentru captarea electronilor liberi produşi de arcul electric şi formarea ionilor negativi, care au o mobilitate mică, comparabilă cu cea a ionilor pozitivi. În acest mod se creează o mare probabilitate de recombinare a acestora în molecule neutre şi, ca urmare, stingerea arcului electric are lac în condiţii mai bune decât în cazul aerului comprimat.

Întrerupătoarele **cu vid** realizează stingerea arcului electric într-un vid avansat. Într-un astfel de mediu, gazul fiind rarefiat, drumul liber mediu parcurs al electronilor deşi este mare, probabilitatea ionizării şi deci a descărcării electrice este foarte redusă, ceea ce face ca arcul electric să nu poată subzista.

4.5.1. Întrerupătoare cu ulei

Întrerupătoarele cu ulei se folosesc atât ca întrerupătoare de medie cât şi înaltă tensiune şi folosesc ca mediu de stingere a arcului electric uleiul electroizolant.

Primele întrerupătoare cu ulei au fost întrerupătoare cu ulei mult (IUM).

Aceste întrerupătoare (IUM) au fost construite fără cameră de stingere specială a arcului electric, ruperea acestuia se efectua liber într-o baie de ulei formată dintr-o cuvă metalică (rupere liberă). Uleiul servea atât ca mediu de stingere, cât şi ca mediu izolant a părţilor sub tensiune în raport cu cele puse

la pământ.

În aceste condiții, la desfacerea contactelor stingerea arcului se realizează prin alungirea şi crearea efectului de răcire a coloanei arcului în contact cu uleiul.

Prin creşterea cantității de gaze descompuse şi a presiunii din interiorul cuvei care poate atinge $6 \div 10$ atm. şi prin spălarea continuă a contactelor mobile cu ulei proaspăt, care lucrează ca un jet la piciorul arcului electric se realiza stingerea acestuia.

Dezavantajul cel mai mare al întrerupătorului cu baie de ulei este legat de pericolul de explozie, urmat aproape fără excepție de incendii, când se depăşeşte capacitatea lui nominală de rupere.

Întrerupătoarele IUM cu cameră de stingere au îmbunătățit condițiile de stingere a arcului electric şi performanțele lor, în ceea ce priveşte capacitatea de rupere şi viteza de stingere a arcului electric.

Închiderea mediului de ardere a arcului electric într-o cameră izolantă cu o formă constructivă de volum redus, a spațiului în care arcul electric se dezvoltă, a creat condiții de stingere a arcului electric mai favorabile, reducându-se lungimea şi durata de existență a acestuia. În acelaşi timp, deşi presiunea în camera de stingere atinge valori mari de 60 – 100 atm, presiunea pe pereții cuvei se reduce la 1,5 – 2 atm, micşorând pericolul exploziei. Totuşi pericolul exploziilor şi al incendiilor nu a fost total înlăturat, în plus, cantitățile mari de ulei au determinat gabarite speciale ale acestor aparate, modificări de instalații şi dificultăți de exploatare legate de faptul că părțile mai importante ale aparatelor, în caz de defecțiuni, nu pot fi examinate fără golirea cuvelor. Din aceste motive, în prezent, utilizarea întrerupătoarelor cu ulei mult este redusă şi limitată la puteri de rupere mici (150÷500 MVA), în instalații nesupuse supravegherii, iar construcția lor în tehnica europeană a încetat şi a fost înlocuită cu cea a întrerupătoarelor cu ulei puțin.

Întrerupătoarele cu ulei puțin se construiesc atât ca aparate de exterior, cât şi ca aparate de interior, pentru toată gama de tensiuni şi de puteri nominale de rupere, de la 10 kV şi 100 MVA, până la 750 kV şi 60 000 MVA.

Ele se caracterizează prin intensificarea acțiunii de răcire a arcului electric după principiul jetului de fluid şi expandării. În aceste condiții, cantitatea de ulei se reduce foarte mult, însă întreaga masă de ulei participă la procesul stingerii arcului electric. Partea activă a fiecărui pol (camera de stingere) este conținută în anvelope izolante, în general cilindrice, având prizele de curent la extremități. Contactul mobil, în afara unor cazuri rare, se prezintă sub forma unei tije de cupru, care se deplasează în axa camerei de stingere sau paralel cu aceasta.

Când aparatul se află în poziția deconectat, între extremitățile camerei de stingere se aplică întreaga tensiune la borne. În aceste condiții, pentru realizarea izolației față de pământ, care nu mai este obținută cu ajutorul uleiului mineral electroizolant ca în cazul întrerupătoarelor cu ulei mult, s-au adoptat diferite modalități tehnice, în funcție de tipul constructiv şi de tensiunea nominală a aparatului.

Pentru întrerupătoarele cu ulei puțin şi tensiuni nominale Un ≥ 110 kV partea activă conținută în izolatoare de porțelan pline cu ulei, poate fi montată pe izolatoare suport verticale, umplute de asemenea cu ulei.

Ruperea curentului în camera de stingere are loc în momentul trecerii lui prin valoarea zero, când energia introdusă în arcul electric este nulă şi când între contacte se injectează un jet de ulei proaspăt, provenit fie ca o consecință a descompunerii acestuia şi a formării unei presiuni suplimentare, fie de la un dispozitiv mecanic (pompă cu piston). Uneori sunt combinate ambele soluții.

Din punct de vedere constructiv, camera de stingere a întrerupătoarelor cu ulei puțin este, în general, prevăzută cu discuri şi alveole sau cu buzunare cu ulei, în care stingerea arcului electric se poate efectua în una dintre următoarele trei variante: cu suflaj axial (longitudinal), cu suflaj transversal sau cu suflaj mixt.

Camera de stingere cu suflaj axial este formată dintr-un cilindru izolant, în care sunt dispuşi pereți despărțitori perpendiculari pe axa contactului mobil. În acest fel, se formează un labirint cu un număr mare de alveole sau buzunare, care conțin o anumită cantitate de ulei. Arcul electric, întins prin deplasarea contactului mobil descompune o mare parte din uleiul conținut în cameră şi vaporizează o altă parte. Gazele formate, împing uleiul din buzunare asupra coloanei arcului, pe care o deionizează puternic, mai ales la trecerea curentului prin zero; ele sunt apoi eşapate prin deschiderile canalului de trecere a contactului mobil, într-un sens sau altul, conform concepției constructive a întrerupătorului, provocând astfel suflajul axial. Datorită faptului că secțiunea de evacuare a gazelor este redusă, presiunea din interiorul camerei este ridicată, atingând la construcțiile obişnuite, valori normale de 50-70 atm. În aceste condiții, se poate considera că stingerea arcului electric se va efectua satisfăcător, nu numai la deconectarea curenților de scurtcircuit ci şi la aceea a curenților mici, inductivi şi capacitivi.

Camera de stingere cu suflaj transversal este asemănătoare celei cu suflaj axial, cu deosebirea că deschiderile de suflaj sunt practicate lateral. Gazele rezultate din descompunerea uleiului, create de partea închisă a

alveolelor sunt eşapate prin aceste deschideri, suflând arcul electric transversal.

Practicarea deschiderilor laterale este astfel făcută, încât este evitată amorsarea arcului electric între diferitele jeturi de gaze ionizate conductoare în afara camerei de stingere. Ținându-se seama că secțiunea de evacuare a gazelor este mare, presiunea din cameră este mai redusă decât în camera cu suflaj axial. Din această cauză, la aceiaşi viteză de deplasare a contactelor mobile, aptitudinea de rupere a unor curenți cu intensități mici este mai redusă.

Camera cu suflaj mixt remediază în bună măsură inconvenientul celei cu suflaj transversal, reducând numărul deschiderilor laterale. Plecând de la contactul mobil, arcul electric care se formează, întâlneşte mai întâi câteva buzunare deschise, care favorizează punerea sub presiune a camerei, apoi mai multe buzunare închise în care suflajul se efectuează transversal (pentru întreruperea curenților intenşi) şi din nou câteva buzunare închise, unde suflajul este longitudinal (pentru întreruperea curenților cu intensități reduse).

Deoarece stingerea arcului electric, în întrerupătoarele cu ulei puțin se efectuează după aceleaşi principii, variantele constructive ale camerelor de stingere sunt asemănătoare. Principalele diferențe se referă numai la dispunerea camerei de stingere în cilindrul exterior, fixarea acesteia la partea inferioară sau la capacul superior, viteza contactelor mobile şi alegerea materialelor electroizolante de construcție, în directă legătură cu creşterea presiunilor interioare şi a capacității de rupere.

Denumirea de întrerupător cu ulei puțin (IUP) îşi are originea în faptul că, în trecut se fabricau şi întrerupătoare cu ulei mult (IUM) în comparație cu care aceste întrerupătoare folosesc o cantitate mult mai mică de ulei. La un întrerupător cu ulei puțin aproape întreaga incintă cu ulei este ocupată de camera de stingere şi aproape toată cantitatea de ulei participă la stingerea arcului electric. La întrerupătoarele cu ulei mult camera de stingere era plasată într-o cuvă voluminoasă cu ulei.

Întrerupătoarele cu ulei puțin folosesc principiul expandării şi al jetului de ulei în scopul răcirii şi stingerii arcului electric, în gama de tensiuni nominale de la 10 ÷ 30 kV, curenți nominali între 630 ÷ 2500 A şi puteri de rupere 150 ÷ 1500 MVA.

Din punct de vedere constructiv întrerupătoarele cu ulei puțin de medie tensiune sunt adaptate montajului în celule prefabricate cu contacte debroşabile în spații închise.

Structura generală a întrerupătoarelor de medie tensiune conține trei compartimente distincte:

– compartimentul camerei de stingere (izolant);

– compartimentul cu rezerva de ulei (carterul inferior);

– compartimentul de egalizare a presiunilor (carterul superior).

Compartimentul de egalizare a presiuni este în legătură cu atmosfera exterioară prin intermediul unui mic orificiu, astfel încât gazele ionizate sunt răcite înainte de ieşirea în atmosferă. Tot în acest compartiment se efectuează şi separarea uleiului antrenat odată cu gazele, după o deconectare.

Întrerupătoarele cu ulei sunt destinate folosirii în gama de tensiuni nominale 123, 245, 420, 525 kV şi intensităţi nominale până la 2000 A. Construcţiile actuale satisfac cerinţele de exploatare (pot realiza deconectarea liniilor în gol şi oferă o putere de rupere acoperitoare pentru puterile de scurtcircuit ale sistemelor energetice.

În ceea ce priveşte deconectarea liniilor în gol, în principiu, întrerupătorul cu ulei puţin nu se comportă prea bine deoarece energia necesară stingerii arcului electric este preluată chiar de la arcul electric. Deci, pentru stingerea arcului electric acesta trebuie să ardă un timp cu atât mai mare, cu cât curentul în arc este mai mic. În consecinţă, la întrerupătoarele cu ulei puţin, la întreruperea curenţilor mici (capacitivi), nu trebuie să se conteze pe autosuflaj.

Repartiţia tensiunii oscilante de restabilire, în mod egal pe camerele de stingere se realizează atât în mod natural datorită rezistenţei echivalente a conductivităţii curentului postarc, dar mai ales condensatoarelor sau rezistenţelor conectate în paralel pe camerele de stingere.

În figura 4.19. este prezentată o secţiune longitudinală prin polul întrerupătorului IUP de 245 kV şi putere de rupere de 8000 MVA construit la UEPC. Camera de stingere 8, cilindrică, este constituită din ţesătură de sticlă impregnată cu răşină epoxidică, pentru a oferi o rigiditate dielectrică ridicată şi o rezistenţă mecanică mare. Camera de stingere este plasată într-un tub izolant 9 din acelaşi material, cu proprietăţi dielectrice şi mecanice foarte ridicate. Carterele metalice 10 şi 11, la care se racordează tubul 9, servesc drept suport pentru prizele de curent. Izolatorul ceramic exterior 14 serveşte la protecţia ansamblului activ împotriva agenţilor atmosferici şi în mod normal se asigură comunicarea între conţinutul de ulei al izolatorului 14 şi al tubului 8, prin intermediul unei clapete ataşate carterului superior. La producerea unei presiuni în camera de stingere, clapeta împiedică transmisia presiunii în interiorul izolatorului ceramic, astfel încât acesta nu este solicitat din punct de vedere mecanic.

Camera de stingere, de construcţie rigidă, este compartimentată cu ajutorul unor discuri din material izolant, în scopul reţinerii unei cantităţi de ulei în compartimente, după prima deconectare. Astfel, la o nouă declanşare după 0,2 s, ca urmare a reanclanşării automate, găseşte în compartiment o cantitate de ulei suficientă pentru a stinge arcul electric. Stingerea arcului electric la acest tip de întrerupătoare se obţine prin realizarea unei presiuni importante

(peste 100 bar) a gazelor şi printr-un jet axial puternic, care deionizează arcul.

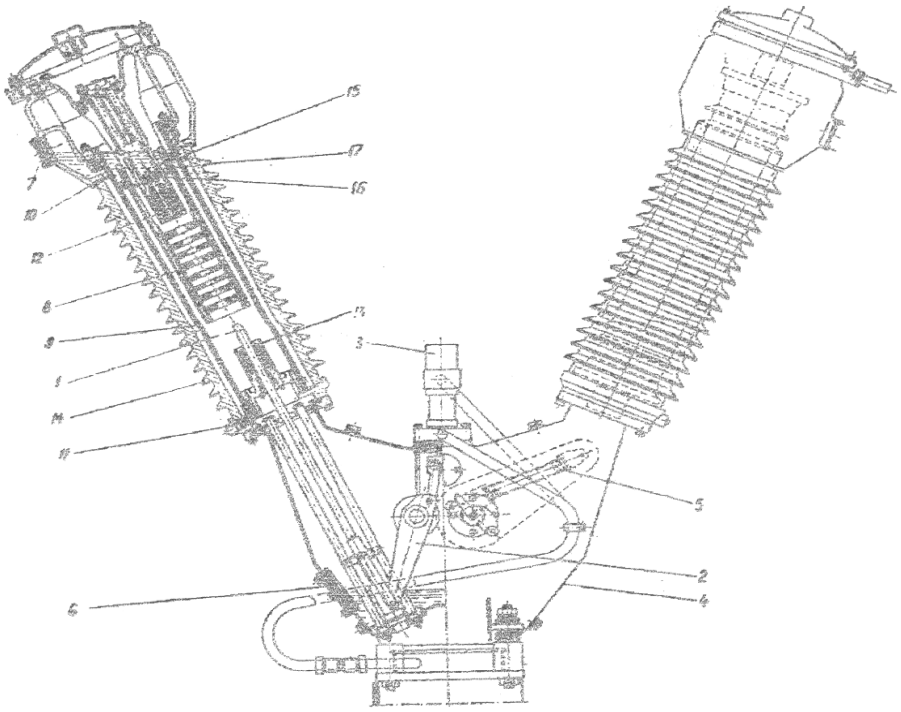


Figura 4.19. Polul unui întrerupător IUP-245 kV

1- contact mobil; 2- mecanism bielă manivelă; 3- cilindru cu piston de acţionare; 4- suport comun pentru două console; 5- resort; 6, 7- indicator de nivel a uleiului; 8- camera de stingere; 9- cilindru izolant; 10, 11- cartere metalice; 12,13- contacte; 14- izolator ceramic; 15- cilindru; 16- piston; 17- resort.

Viteza mecanică sporită impune echiparea întrerupătoarelor cu dispozitive anticavitaţional plasat în zona superioară a contactului fix 12. Acest dispozitiv permite ca tensiunea de ţinere în camera de stingere să crească suficient de rapid pentru a face faţă, mai ales, deconectărilor de sarcini capacitive.

Dispozitivul de acţionare a tijelor 5 este realizat din două mecanisme bielă-manivelă 2, simetrice în raport cu axa sistemului de camere aşezate în V. Mecanismul bielă-manivelă sunt acţionate hidraulic de pistonul cu dublu efect care se află în cilindrul 3.

Un dispozitiv tumbler 5 asigură menţinerea întrerupătorului în poziţiile închis sau deschis.

Întrerupătoarele cu ulei puţin pot fi instalate în aer liber în două variante: pe o fundaţie sau suspendat. Suspendarea se recomandă mai ales

zonelor supuse seismelor, deoarece oferă un grad mare de libertate întrerupătorului, fără ca acesta să sufere solicitări mecanice dure.

Pentru tensiuni nominale foarte mari se utilizează principiul constructiv al modulului. Acest principiu constă în construirea unui pol de întrerupător cu tensiunea nominală de 245 kV şi puterea de rupere 10.000 MVA pornind de la polul de 123 kV. Polul constă în patru camere de stingere identice, conectate în serie (câte două camere de stingere în serie pentru fiecare modul de 123 kV).

Pentru polul de 420 kV se folosesc 6 camere de stingere în serie (trei module de 123 kV). Pentru a asigura rigiditatea dielectrică faţă de pământ se suplimentează în mod corespunzător şi modulele de izolatori.

Variantele de întrerupătoare folosite la ora actuală în comutaţia de înaltă tensiune sunt pe lângă întrerupătoarele cu ulei puţin (IUP, IO) întrerupătoarele cu aer comprimat (IAC), întrerupătoarele cu hexaflorură de sulf (SF_6) şi întrerupătoarele în vid. La noi în ţară majoritatea întrerupătoarelor de înaltă tensiune sunt cele cu ulei puţin, iar soluţie optimă de viitor se preconizează folosirea întrerupătoarelor cu SF_6. Mecanismele de acţionare a acestor întrerupătoare sunt: pneumatice, oleopneumatice, cu acumulare de energie în resoarte, sau cu servomotor electric.

4.5.2. Întrerupătoare cu Hexafluorură de sulf

Folosirea gazului hexaflorură de sulf (SF_6), la stingerea arcului electric şi apoi la asigurarea izolaţiei între piesele de contact, se justifică prin proprietăţile fizice ale acestui gaz.

SF_6 este un gaz electronegativ (adică moleculele sale prezintă o mare afinitate faţă de electronii liberi, din combinaţia lor rezultând ioni negativi, cu masă mare, având deci o mobilitate extrem de redusă şi devenind practic neutilizabili ca purtători de sarcină) şi îşi păstrează această proprietate până la câteva mii de grade. Această proprietate determină tensiuni de străpungere mult superioare celor în aer, la aceeaşi presiune.

Acest gaz posedă proprietăţi termice remarcabile: energie de disociere redusă, temperatură de disociere redusă şi ca urmare, o constantă de timp mai mică cu 2 ordine de mărime faţă de cea a aerului. Aceste calităţi dielectrice excepţionale, permit distanţe reduse între electrozii sub tensiune, putere de rupere foarte ridicată, viteză mare de regenerare dielectrică an spaţiului dintre contacte după ruperea arcului.

Hexaflorura de sulf nu atacă materiale de construcţie, cu excepţia celor cu conţinut de hidrogen şi de aceea piesele izolante se construiesc din teflon.

SF_6 este un gaz multiatomic atomii de fluor aflându-se în vârfurile unui octaedru, iar cei de sulf în centrul octaedrului. Această structură determină un

important coeficient de dilatare volumică şi, ca urmare, într-o incintă în care arde arcul electric presiunea gazului creşte extrem de mult.

Această proprietate este folosită în construcţia întrerupătoarelor numite cu „autostingere".

Toate variantele de întrerupătoare cu SF_6, din generaţiile de astfel de întrerupătoare au arcul electric răcit printr-un jet de gaz longitudinal.

Etapele de stingere a arcului electric în SF_6 sunt după cum urmează:

– Faza curentului intens. În această fază arcul electric constă dintr-o plasmă de mare conductivitate electrică şi de temperatură mare (aprox. 25.000K) corespunzând unei densităţi de masă extrem de mici şi unei viteze de curgere extrem de mari. În această plasmă se găsesc şi vapori metalici proveniţi din piesele de contact. Dimensiunile corecte ale geometriei ajutajului asigură o curgere neturbulentă şi evită fenomenul de refulare.

– Faza termică. Înainte de trecerea curentului prin valoarea 0, diametrul plasmei scade continuu, iar în momentul trecerii curentului prin valoarea 0 diametrul arcului este extrem de mic (aproximativ 1 mm). Caracteristic acestei faze este producerea intensă de turbulenţe, cauzată de sosirea în ajutaj a gazului cu temperatură redusă şi viteză mică şi coliziunea cu plasma caracterizată prin temperatură mare şi viteză mare. Reaprinderea sau stingerea definitivă a arcului electric se decide în această fază şi depinde în cea mai mare măsură de formarea turbulenţei.

- Faza dielectrică . După ce arcul electric a fost stins, plasma de înaltă conductivitate electrică a fost înlocuită cu gaz neconductor dar cald, în care există purtători de sarcină liberi. Aceşti purtători de sarcină pot distorsiona câmpul electric în ajutajul izolant. În această fază apare, între piesele de contact ale întrerupătorului, tensiunea tranzitorie de restabilire, care constituie solicitarea dielectrică maximă a întrerupătorului după o întrerupere reuşită.

Primele variante de întrerupătoare cu SF_6 au apărut în anii 60 şi se bazau pe principiul întrerupătoarelor pneumatice, adică cu instalaţii de compresie auxiliară, lucrând la două presiuni.

Datorită proprietăţilor dielectrice bune, aceste întrerupătoare s-au dezvoltat în variantele cu autocompresie, ce folosesc deplasarea contactului mobil la deconectare pentru comprimarea gazului. Firma Electroputere Craiova a realizat 1979 primul întrerupător capsulat cu SF_6 de 123 kV/2000A, iar în 1984 a realizat un întrerupător integral în construcţie independentă cu autocompresie de 145kV (3150A şi putere de rupere 40kA). În anul 1986 s-a realizat un întrerupător de 170kV/ 3150A/ 40kA.

Principiul funcţionării camerelor de stingere cu autocompresie este prezentat în figura 4.20. exemplificat pentru o cameră de stingere folosită la întrerupătoarele AEG la tensiuni între 72,5 kV şi 765kV. Presiunea gazului SF_6 în interiorul camerei este de 5 bari.

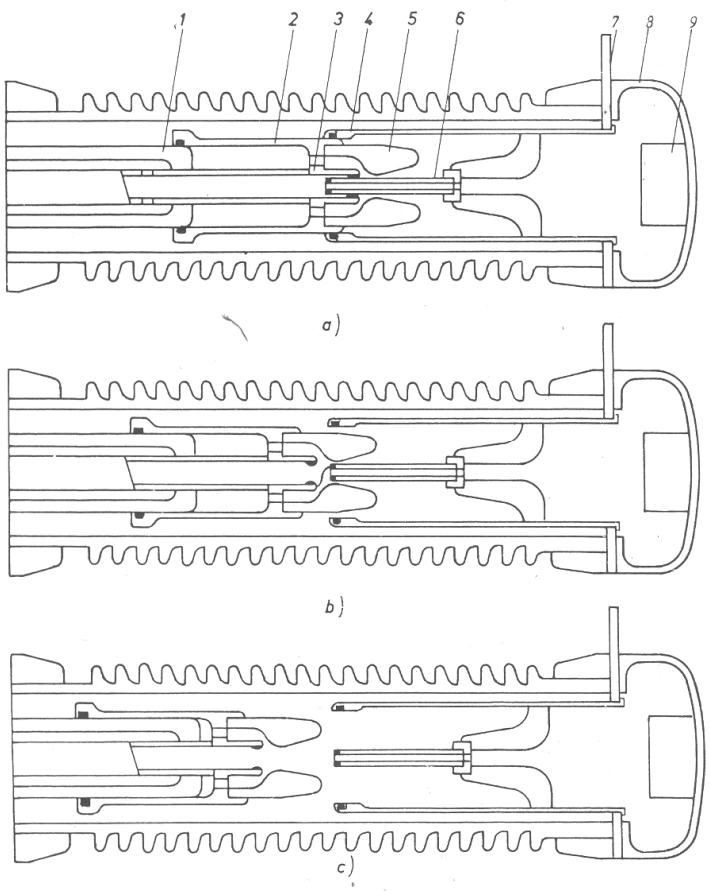


Figura 4.20. Cameră de stingere cu autocompresie

1- piston fix, 2- cilindru de compresie, 3- piesă de contact, 4- contact pentru contactul nominal, 5- ajutaj izolant, 6- piesă de contact pentru arcul electric, 7- flanşe de racord, 8- cavitate, 9- filtru de alumină (Al_2O_3).

În poziția închis a) se stabileşte continuitatea circuitului prin contactul fix tubular 6 şi contactul mobil de tip tulipă 4. Prin acționarea asupra tijei de comandă, solidară cu cilindrul de autocompresie 2 şi contactul mobil 4 apare arcul electric între contactul fix şi contactul de arc din interiorul tulipei 6. Contactul mobil împreună cu cilindrul de autocompresie se deplasează în direcția pistonului fix 1, comprimând gazul şi obligându-l să treacă prin orificiile de cilindru şi să pătrundă în zona arcului electric unde se realizează un puternic suflaj longitudinal datorită formei duzei 5, ceea ce contribuie la rapida stingere arcului electric. Capacul prins de camera de stingere prin intermediul flanşei 7 cuprinde un filtru de alumină 9, rolul de a curăța gazul de florurile metalice ce se formează. Refacerea rapidă a rigidității dielectrice a gazului SF_6, oferă acestui tip de întrerupător posibilitatea de a fi utilizat la

deconectarea sarcinilor capacitive.

Utilizând principiul modulului pot fi construite întrerupătoare pentru tensiuni foarte înalte cu mai multe camere de stingere.

Acționarea acestor întrerupătoare se face pneumatic cu ajutorul cilindrului 16 şi a pistonului solidar cu tija 15.

Duzele din materiale conductoare sunt executate din metale sau grafit. În prezent duzele la întrerupătoare se fac cel mai adesea din teflon care prezintă nişte proprietăți speciale: rezistență mecanică mare, prelucrabilitate uşoară, rezistență la temperaturi ridicate.

Întrerupătoarele cu autocompresie impun anumite cerințe asupra mecanismului de acționare. Astfel pentru a învinge blocajul ajutajului şi presiunea dinamică a arcului electric pistonul trebuie antrenat de energie în resoarte, sau mecanisme oleopneumatice, astfel încât prețul de cost al întrerupătorului creşte.

A treia generație de întrerupătoare cu SF_6 denumite întrerupătoare cu autosuflaj sau autoexpansiune se bazează pe rotirea arcului provocată de un câmp magnetic produs de o bobină parcursă în momentul deschideri de propriul curent de rupere. Sub acțiunea arcului electric gazul încălzit produce o presiune ridicată care este folosită la curgerea gazului şi implicit la deionizarea arcului electric.

Întrerupătoarele cu SF_6 cu autocompresie au următoarele avantaje comparativ cu întrerupătoarele cu dublă presiune: gazul SF_6 nu este permanent comprimat; nu necesită compresoare şi rezervoare la presiune ridicată; simplitatea construcției prin utilizarea unui număr mic de piese mobile şi garnituri de etanşare; autogenerarea presiunii necesare pentru întreruperea curenților inductivi fără apariția supratensiunilor; reducerea uzurii contactelor prin reducerea energiei de arc; nivel de zgomot redus; timp de rupere mici; adaptibilitatea la circuitul RAR, deoarece presiunea nu este stocată în rezervor pentru rupere; prețul scăzut.

A doua variantă de întrerupătoare cu SF_6 întrerupătoarele cu autosuflaj au următoarele avantaje: au o anduranță mecanică mai mare, câmpul magnetic realizează rotirea şi ghidarea arcului astfel încât se dezvoltă perfect centrat şi stabilizat şi se evită prezența unei duze izolate care perturbă câmpul; deplasarea rapidă a arcului pe contacte limitează erodarea lor. Ca dezavantaje ale acestor întrerupătoare amintim: au o dimensionare dificilă a bobinelor de suflaj, a contactelor de arc şi a camerei de presiune; sunt limitate de puterea de rupere.

Astăzi se realizează întrerupătoare capsulate cu SF_6 ce cuprind într-un lot unitar barele colectoare, separatoarele, întrerupătorul de putere, reductoarele de tensiune şi curent. Introducerea în exploatare a acestor instalații, ce reprezintă soluția cea mai favorabilă pentru domeniul înaltei

tensiuni, fapt justificat de următorii factori: necesitatea de transfera energie electrică în centrele industriale şi în oraşele mari cu o tensiune nominală cât mai ridicată şi de a afecta un spațiu cât mai redus pentru stația de conexiune sau de transformare; eliminarea defectelor posibile din cauza poluării în zonele industriale sau cu atmosferă salină; creşterea gradului de securitate, carcasele metalice fiind legate la pământ; eliminarea pericolului de explozie; exploatare mai simplă şi fiabilitate ridicată.

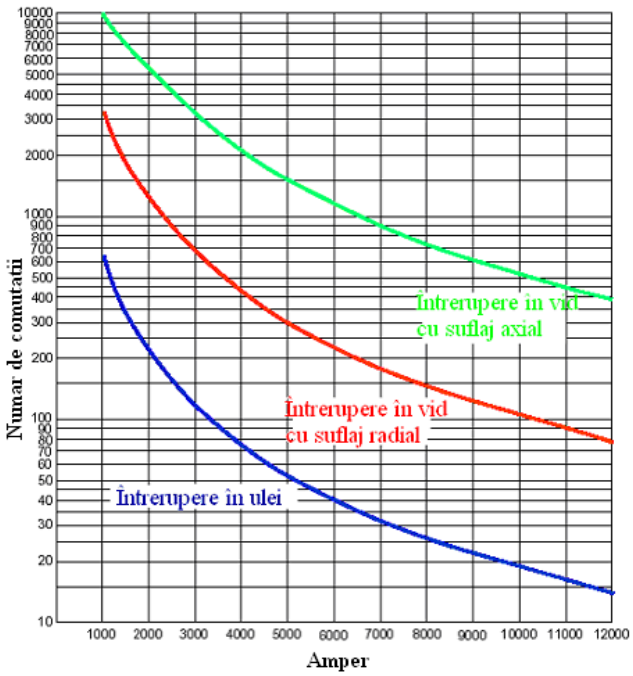


Figura 4.21. Anduranța întrerupătoarelor de înaltă tensiune

Pentru acționarea întrerupătoarelor de înaltă tensiune cu SF_6 se folosesc mecanisme de acționare specifice. Acestea sunt ansamble distincte sau incluse în întrerupătoare asigurând comutația acestora. Aceste mecanisme asigură transmiterea, în urma comenzii manuale sau electrice, a energiei de acționare a contactelor mobile ale întrerupătorului. Energia pusă în joc de aceste dispozitive asigură imprimarea vitezei prescrise a contactului. De asemenea aceste mecanisme trebuie să mențină întrerupătorul blocat în poziția închis sau deschis, în toate condițiile de exploatare: vibrații, trepidații, trecerea curentului de scurt circuit de şoc. Principalele subansamble ale dispozitivelor de acționare sunt: mecanismul de anclanşare, de blocare şi mecanismul de decuplare. După sursa de energie utilizată, mecanismele de acționare ale întrerupătoarelor de înaltă tensiune se clasifică în: mecanisme cu acumulare de energie în resoarte, mecanisme pneumatice şi mecanisme cu acționare hidraulică.

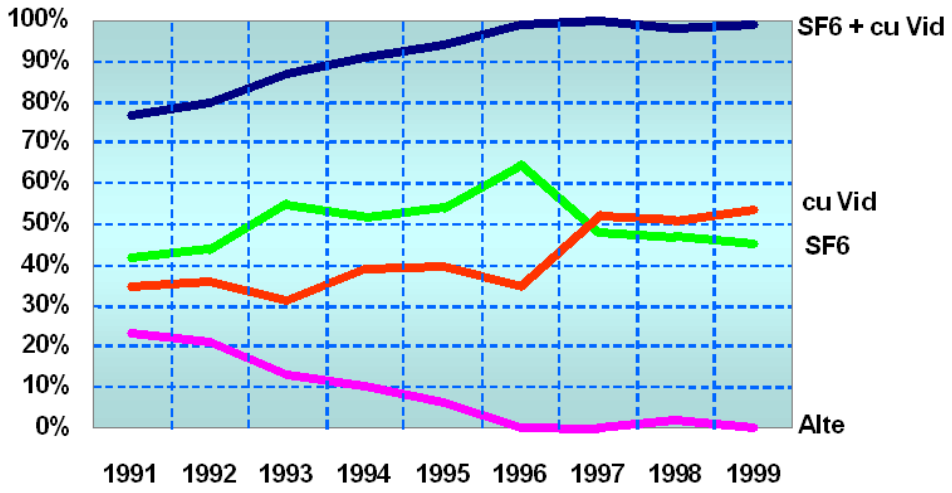


Figura 4.22. Producția mondială de întrerupătoare de înaltă tensiune

Tendința actuală în ceea ce privește construcția întrerupătoarelor de înaltă tensiune cu SF_6 pe plan mondial vizează: realizarea unei capacități de rupere mărite la 100kA; realizarea etanşărilor cu ferofluide magnetice; optimizarea mecanismelor de acționare pentru asigurarea comenzilor sincrone prin prevederea unor dispozitive electronice; computerizarea sistemelor de protecție, comandă şi diagnoză pentru creşterea fiabilității întrerupătoarelor; creşterea perioadei de revizie la 20-30 de ani; proiectarea asistată de calculator a întrerupătoarelor.

Principiul autosuflajului se extinde la aparate cu tensiuni nominale de $52 \div 72{,}5$KV şi chiar până la 145 KV, deoarece energia de acționare se reduce la aproximativ 20% din energia necesară unui întrerupător cu aceeaşi capacitate de rupere funcționând pe baza principiului de autocompresie. La curenți de scurtcircuit intenşi, jetul de gaz este format, în esență, prin dilatarea gazului SF_6. limitarea acestui avantaj decurge din faptul că gazul astfel format, şi care serveşte la răcirea arcului electric, este cald.

Pentru a verifica modul de însuşire a cunoştinţelor prezentate în acest capitol răspundeţi pe scurt la următoarele întrebări:

1. Cum se clasifică după tensiune reţelele electrice?
2. Ce mărimi caracteristice are un aparat electric de comutaţie de medie sau înaltă tensiune?
3. Definiţi tensiunea nominală a unui aparat de comutaţie?
4. Definiţi curentul nominal a unui aparat de comutaţie?
5. Definiţi capacitatea de rupere a unui aparat de comutaţie?
6. Definiţi puterea de rupere a unui aparat de comutaţie?
7. Definiţi capacitatea de conectare a unui aparat de comutaţie?
8. Definiţi capacitatea nominală de rupere a unui întrerupător.
9. Ce aparate electrice de comutaţie de medie şi înaltă tensiune cunoaşteţi?
10. Ce rol au aparatele electrice de comutaţie în reţelele electrice de medie tensiune?
11. Ce rol au aparatele electrice de comutaţie în reţelele electrice de înaltă tensiune?
12. Ce rol are separatorul electric de medie tensiune?
13. Ce curenţi comută un separator de medie tensiune?
14. Clasificaţi separatoarele de medie tensiune după modul de amplasare.
15. Clasificaţi separatoarele de medie tensiune după soluţia constructivă.
16. Clasificaţi separatoarele de medie tensiune după dispozitivul de acţionare.
17. Clasificaţi separatoarele de medie tensiune după felul contactelor.
18. Ce variante constructive de separatoare de medie tensiune cunoaşteţi?
19. Ce rol are cuţitul de punere la pământ al unui separator?
20. Definiţi un separator de sarcină?
21. unde se folosesc separatoarele de sarcină?
22. Cu ce interblocări sunt prevăzute separatoarele de medie tensiune?
23. Ce rol are un separator de înaltă tensiune?
24. Clasificaţi separatoarele de înaltă tensiune după varianta constructivă.
25. Care sunt elementele constitutive ale unui separator de înaltă tensiune?
26. Ce metode de acţionare a separatoarelor de înaltă tensiune cunoaşteţi?
27. Care este cea mai performantă variantă de separator de înaltă tensiune?
28. Ce avantaje prezintă un separator pantograf?
29. Ce rol au separatoarele de punere la pământ şi scurtcircuitare?
30. Ce rol au separatoarele de secţionare?
31. Ce variante constructive de contactoare de medie tensiune cunoaşteţi?

32. Care este cea mai performantă variantă de contactor de medie tensiune?
33. Ce tip de contacte are un contactor de medie tensiune cu vid?
34. Cât este distanța dintre electrozi la contactoarele de medie tensiune cu vid?
35. Care este dispozitivul de acționare a unui contactor de medie tensiune cu vid?
36. Ce variante de întrerupătoare de medie tensiune cunoașteți?
37. Din ce materiale se fac contactele întrerupătorului de medie tensiune cu vid?
38. Ce rol au dispozitivul de acționare al unui întrerupător de medie sau înaltă tensiune?
39. Ce mecanisme de acționare ale întrerupătoarelor de medie tensiune cunoașteți?
40. Ce părți componente are un mecanism de acționare a întrerupătoarelor de medie tensiune?
41. Ce dezavantaje au contactoarele statice față de contactoarele electromagnetice?
42. Ce înțelegeți printr-un mecanism cu liberă deschidere?
43. Din ce este alcătuit un MRI?
44. Ce putere de rupere au întrerupătoarele de 123 kV în ulei?
45. Cum se clasifică întrerupătoarele de înaltă tensiune după principiul de stingere a arcului electric?
46. Care este varianta optimă de întrerupător de înaltă tensiune?
47. Ce tipuri de întrerupătoare cu ulei cunoașteți?
48. Ce principiu de stingere a arcului electric se folosește la întrerupătoarele I.O.?
49. Ce compartimente alcătuiesc o cameră de stingere în ulei?
50. Ce rol are dispozitivul anticavitațional al unui întrerupător?
51. În ce constă principiul modulului la întrerupătoarele de înaltă tensiune?
52. Care este modulul fundamental pentru întrerupătoarele de înaltă tensiune?
53. Câte module se folosesc pentru a realiza un întrerupător de 245 kV?
54. Câte camere de stingere înseriate alcătuiesc un întrerupător de 420 kV?
55. Ce gaze electronegative cunoașteți?
56. Definiți un gaz electronegativ?
57. Ce faze apar la stingerea arcului electric în SF_6?
58. Ce variante constructive de întrerupătoare cu SF_6 cunoașteți?
59. Ce dispozitive de acționare ale întrerupătoarelor de înaltă tensiune cunoașteți?
60. Din ce este alcătuit un întrerupător capsulat cu SF_6?

5. PROTECȚIA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE

Defectele care apar în instalațiile electrice sunt foarte complexe, atât ca desfășurare, cât şi din punctul de vedere al efectelor pe care le pot produce. Deşi este posibilă o împărțire a defectelor după cauza şi după natura lor, în practică este greu de distins cărei categorii îi aparține defectul care a avut loc, dat fiind că cel mai adesea apar defecte combinate şi nu se poate şti care a fost cauza. Trebuie menționat că întâmplarea joacă, adesea, un rol important în evoluția defectului.

Eliminarea rapidă şi selectivă a defectelor ca apar în instalațiile electrice este impusă de următoarele aspecte:

– necesitatea continuității în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor nedefecți;

– protejarea consumatorilor de efectele distructive (din punct de vedere termic şi electrodinamic) ale regimurilor anormale (suprasarcină, scurtcircuit sau supratensiune);

– protejarea operatorilor umani de efectele regimurilor anormale de funcționare a instalațiilor electrice;

– reducerea timpului de remediere a defectelor din instalațiile electrice.

Protecțiile se pot clasifica după numeroase criterii, dintre care cele mai importante sunt:

A. După tipul echipamentului protejat, putem avea:
– protecții ale motoarelor electrice (asincrone, sincrone, de c.c.);
– protecția generatoarelor sincrone;
– protecția transformatoarelor electrice;
– protecția rețelelor de distribuție de joasă tensiune (radiale);
– protecția rețelelor de medie şi înaltă tensiune (alimentare bilaterală);
– protecția instalațiilor de iluminat;
– protecția instalațiilor casnice;
– protecția instalațiilor electronice, etc.

B. După tensiunea nominală a echipamentului protejat:
– protecția instalațiilor de joasă tensiune;
– protecția instalațiilor de medie tensiune;
– protecția instalațiilor de înaltă tensiune;
– protecția instalațiilor de foarte înaltă tensiune.

C. După tipul de defect putem avea:

– protecție la suprasarcină;
– protecție la supracurenți;
– protecție la scurtcircuit;
– protecție la supratensiune;
– protecție la tensiune minimă;
– protecție la dispariția tensiunii;
– protecție la supratensiuni atmosferice;
– protecție împotriva ieşirii din sincronism;
– protecție la degajarea de gaze;
– protecție împotriva alimentării cu tensiune asimetrică;
– protecție împotriva funcționării la frecvență redusă, etc.

D. După timpul de acționare al protecției:
– ultrarapide;
– rapide;
– normale;
– lente;
– temporizate;
– temporizate în trepte, etc.

E. După echipamentul de protecție:
– protecții prin relee electromecanice;
– protecții prin relee electronice;
– protecții prin declanşatoare;
– protecții prin automate programabile;
– protecții prin calculator, etc.

F. După modul de conectare în circuitele protejate;
– protecții cu conectare directă în circuitul echipamentului protejat;
– protecții prin traductoare (de curent, tensiune, direcționale, etvc.);
– protecții mixte.

G. După modul de acționare în circuitul protejat:
– acționare directă (prin contactoare sau întrerupătoare);
– acționare directă prin siguranțe fuzibile;
– acționare indirectă prin relee intermediare sau contactoare, etc.

H. După gradul de automatizare:
– protecții locale automate (siguranțe fuzibile, relee sau declanşatoare);
– protecții numerice;
– protecții de la distanță prin sisteme de telecomandă;
– protecții prin dispecerat.

La proiectarea circuitelor de protecție trebuie să se țină cont de faptul că

regimurile de avarie pot dăuna nu doar echipamentului supravegheat ci şi instalației electrice în ansamblul ei.

De multe ori pagubele datorate întreruperii alimentării cu energie electrică a unor consumatori sunt mult mai mari decât costul echipamentului deteriorat prin regimul anormal de funcționare.

În clasificarea defectelor din instalațiile electrice după natura lor, trebuie menționate în primul rând cele care constau în deteriorarea (străpungerea sau conturnarea) izolației.

Scurtcircuitul este cel mai grav defect; el se poate produce între trei faze, între două faze sau între o fază şi pământ (în rețelele cu punctul neutru legat la pământ).

Curentul de scurtcircuit, având o valoare mare, provoacă o creştere a căderii de tensiune în generatoare şi în toate impendanțele pe care le parcurge, ducând astfel la o scădere a tensiunii în rețea, cu efecte dăunătoare asupra consumatorilor şi asupra funcționării în paralel a centralelor.

Pe lângă aceste neajunsuri în funcționarea consumatorilor, curentul de scurtcircuit provoacă şi deteriorări în instalații, care pot fi foarte grave, datorită acțiunii sale dinamice şi termice.

În general, scurtcircuitul apare sub două forme : scurtcircuit net (atingerea directă între faze) şi scurtcircuit prin arc.

Un alt defect des întâlnit în instalațiile electrice, şi care constă tot în deteriorarea izolației, este punerea la pământ. Într-o rețea cu punctul neutru izolat, punerea la pământ a unei faze nu constituie, prin ea însăşi, un defect, neconducând la perturbări importante ale funcționării. Ea este de cele mai multe ori doar începutul unui defect mai grav, căci de obicei degenerează în scurtcircuit, cu urmările cunoscute; de aceea, apariția punerii la pământ trebuie cunoscută, pentru a se lua măsurile necesare de îndepărtare a acestei stări anormale. În afară de aceasta, ea produce totuşi unele mici perturbări care, deşi nepericuloase, nu sunt de dorit.

Curentul de punere la pământ poate duce la o încărcare nesimetrică a generatoarelor, încărcare care, fiind capacitivă poate provoca ridicări de tensiune care în anumite condiții devin periculoase. De asemenea, circulația unui curent prin pământ poate provoca perturbări în liniile electrice din apropierea celei defecte, în special în cele de telecomunicații, prin inducerea unor tensiuni ce pot atinge valori periculoase.

La fel ca şi la scurtcircuit, punerea la pământ poate fi netă sau prin arc. Arcul poate sări la alte faze, transformând punerea la pământ în scurtcircuit. Deosebit este arcul intermitent, care constă în stingerea şi reaprinderea repetată a arcului de punere la pământ, stingerea producându-se în momentele de trecere a curentului prin valoarea zero, iar reaprinderea în momentele când

tensiunea alternativă atinge valori suficiente pentru reamorsarea arcului în mediul încă ionizat. Arcul intermitent poate produce, supratensiuni care ating valori de aproximativ $3U_{fază}$.

De altfel, chiar în cazul unei puneri la pământ nete, într-o rețea cu punctul neutru izolat, faza defectă capătă potențialul pământului, iar tensiunea față de pământ a fazelor sănătoase creşte de $\sqrt{3}$ ori, devenind egală cu tensiunea între ele şi faza defectă.

Supratensiunile rețelei, în condițiile existenței unei puneri la pământ, pot provoca apariția unei a doua puneri la pământ pe o altă fază, defect cunoscut sub numele de dublă punere la pământ, care este echivalentă cu un scurtcircuit bifazat prin rezistență (rezistența traseului prin pământ). Această a doua punere la pământ poate avea loc pe fazele aceleiaşi linii sau a două linii diferite, ceea ce complică defectul şi măreşte consecințele lui neplăcute.

Punerea la pământ a unei faze, într-o rețea cu punctul neutru legat la pământ, este, de fapt, un scurtcircuit monofazat.

O altă categorie de defecte care apar în instalațiile electrice, în afara celor menționate mai sus, care aveau toate la bază deteriorarea izolației, o constituie întreruperile conductoarelor (nu numai ruperile propriu-zise de conductoare, ci şi arderea unei siguranțe pe o fază, deschiderea unui separator pe o singură fază etc.). Acest gen de defecte este însă rar, şi cel mai adesea, este însoțit de scurtcircuite sau puneri la pământ (de exemplu, în cazul ruperii conductoarelor unei linii electrice aeriene).

În primul rând, cauzele care provoacă aceste genuri de defecte sunt datorate depăşirii rezistenței materialelor respective la solicitările mecanice, termice şi, mai ales, electrice. Depăşirea rezistenței se poate produce datorită unor condiții speciale, care duc la supratensiuni electrice foarte mari, vânturile puternice şi chiciura, care solicită în mod deosebit conductoarele şi stâlpii liniilor electrice aeriene.

În al doilea rând, cauza defectelor poate consta în scăderea rezistenței materialelor sub valoarea normală, datorită fie uzurii şi îmbătrânirii (în special pentru izolația electrică), fie acțiunii unor factori externi (substanțe chimice, umezeală, murdărie etc.).

În sfârşit, trebuie citate drept cauze destul de frecvente ale defectelor, greşelile personalului de exploatare, care prin conectări greşite, introducerea unor corpuri străine în instalații, manevre insuficient pregătite, pot duce la creşteri foarte mari ale solicitărilor instalațiilor.

Pe baza statisticilor rezultă că instalațiile cele mai supuse defectelor sunt liniile electrice aeriene, urmate, în ordine, de liniile subterane, stațiile de transformare şi generatoare.

Construcția instalațiilor are o influență hotărâtoare asupra frecvenței şi

tipului de defecte. Astfel, în rețelele cu punctul neutru legat la pământ nu pot avea loc duble puneri la pământ, pe când în rețele cu punctul neutru izolat acestea sunt foarte frecvente.

Ca urmare a faptului ca în rețelele cu punctul neutru legat la pământ fiecare punere la pământ constituie un defect, raportul dintre numărul declanşărilor care au loc în rețelele cu punctul neutru izolat şi în cele cu punctul neutru legat la pământ este de 4/7.

Repartizarea procentuală a diferitelor genuri de defecte (exclusiv ruperile pure de conductoare, care, în general, sunt rare), este aproximativ următoarea: scurtcircuite monofazate, 65%; scurtcircuite bifazate cu punere la pământ şi dublă punere la pământ, 20%; scurtcircuite bifazate fără punere la pământ, 10%; scurtcircuite trifazate, 5%.

În sistemele energetice, în afara defectelor propriu-zise, pot surveni abateri de la regimul normal de funcționare, care produc de asemenea perturbări şi pagube. Acestea constau, în esență, în abateri ale parametrilor de funcționare (tensiune, curent, frecvență) de la valorile lor nominale.

Regimul anormal de funcționare cel mai des întâlnit, este cel de suprasarcină. Acesta constă într-o creştere a curentului peste valorile nominale şi poate fi provocat fie de creşterea neaşteptată a sarcinii, fie de scăderea, din diferite motive, a puterii surselor generatoare. Suprasarcina este un regim inadmisibil de funcționare de durată, în primul rând pentru că provoacă solicitări (în special termice) ale instalațiilor; în al doilea rând, trecerea prin instalații a unor curenți care depăşesc valorile nominale produce scăderi pronunțate ale tensiunii, ceea ce are ca efect absorbirea de către consumatori a unor curenți şi mai mari (pentru a se menține puterea constantă), producându-se astfel o scădere în continuare a tensiunii.

Un alt regim anormal îl constituie apariția pendulărilor între grupurile generatoare sau chiar între centrale, când acestea funcționează cu frecvențe diferite, pendulări care de asemenea pot duce la întreruperi totale.

5.1. PROTECȚIA MOTOARELOR ELECTRICE

Defectele cele mai des întâlnite la motoarele electrice sunt scurtcircuitele polifazate în înfăşurările statorului, la bornele motorului sau în cablul de alimentare; puneri la pământ a unei faze, scurtcircuite între spirele aceleaşi faze. La apariția acestor defecte, ținând seama şi de faptul că motoarele reprezintă ultimul element al sistemului de la sursă spre consumator, declanşarea trebuie să fie instantanee.Cel mai frecvent regim de funcționare este suprasarcina, determinată fie de creşterea tensiunii. Acest regim trebuie eliminat dacă el persistă un anumit timp şi de aceea se folosesc elemente de temporizare a funcționării. La motoarele de putere mică şi mijlocie,

alimentate prin intermediul contactoarelor, se folosesc relee maximale de curent şi relee termobimetalice care realizează protecţia la scurtcircuite şi suprasarcini, conform caracteristicilor de protecţie.

5.1.1. Comanda şi protecţia motoarelor asincrone cu conectare directă la reţea

Pentru alimentarea unui motor asincron trifazat printr-un contactor prevăzut cu un bloc de relee termobimetalice, un bloc de relee electromagnetice şi siguranţe fuzibile putem utiliza schema electrică prezentată în figura 5.1..

În schema electrică desfăşurată (prezentată în figura 5.1.) apare contactorul K cu bobina de acţionare K(0–1), formată dintr-un electromagnet de c.a. alimentat cu tensiune de fază, contactele principale K(2–4, 6–8,10–12), contactul de automenţinere K(14–16) şi contactele NI şi ND, K(3–5) şi K(14–16) respectiv K(18–20) conectate în circuitele de semnalizare; blocul de protecţie termică F_4 având termobimetalele conectate în serie cu înfăşurările motorului ce pot acţiona asupra contactului F_4(7–9); blocul de protecţie electromagnetică F_5, ce poate acţiona asupra contactului său normal închis F_5(7-9); siguranţele fuzibile F_1, F_2, F_3; lămpile de semnalizare H_1,H_2; butonul de pornire cu revenire S_2; butonul de oprire cu revenire S_1 şi motorul acţionat.

Când motorul nu este conectat, lampa H_1, alimentată între o fază şi nul prin contactul normal închis K(3–5) semnalizează această poziţie. Pentru conectarea motorului la reţea se acţionează butonul de pornire S_2 şi bobina contactorului K este alimentată între faza R şi nul prin S_1, S_2 şi contactele normal închise ale celor două blocuri de protecţie. Se produce acţionarea contactorului, ceea ce duce la alimentarea motorului M prin contactele principale ale contactorului, iar prin închiderea contactului de automenţinere K(14–16) se scurtcircuitează butonul de pornire S_2, astfel încât revenirea acestuia nu întrerupe alimentarea bobinei contactorului. În acelaşi timp prin schimbarea poziţiei contactelor K(3–5) şi K(18–20) se opreşte alimentarea lămpii H_1 şi se conectează lampa H_2 ce semnalizează funcţionarea motorului.

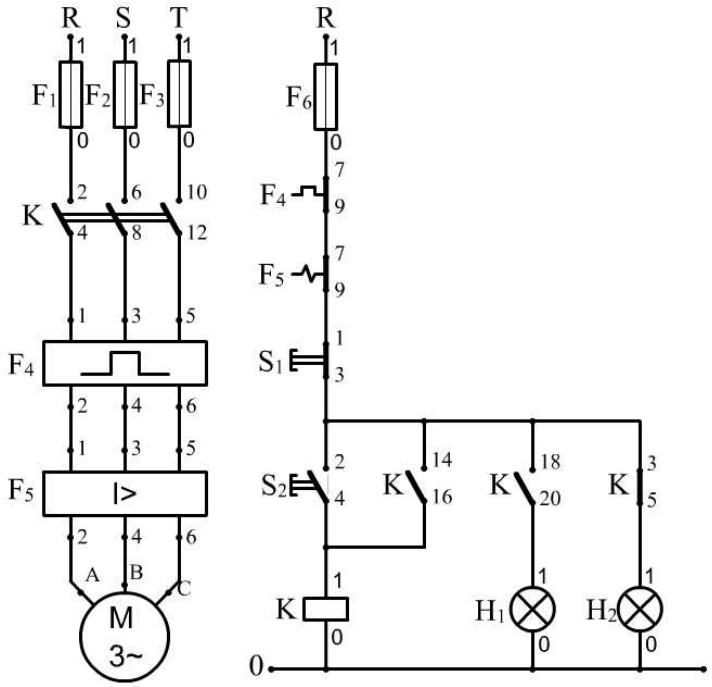


Figura 5.1. Schema electrică desfăşurată de comandă, protecţie şi semnalizare pentru pornirea unui motor asincron prin conectare directă la reţea

F_1, F_2, F_3, F_6 – siguranţe fuzibile, F_4 – bloc de relee termobimetalice, F_5– bloc de relee electromagnetice, K– contactor electromagnetic, S_1, S_2,– butoane de acţio-nare, H_1, H_2– lămpi de semnalizare M– motor asincron cu rotorul în scurtcircuit.

Pentru oprirea voită a motorului se acţionează butonul S_1 care întrerupe alimentarea bobinei contactorului, contactele sale revenind la poziţia iniţială şi motorul rămâne nealimentat.

În cazul unei suprasarcini, în funcţie de mărimea ei, acţionează temporizat protecţia termică F_4 sau instantaneu protecţia F_5 deschizând contactul lor normal deschis înseriat cu bobina contactorului, ceea ce conduce la deconectarea motorului de la reţea. În caz de scurtcircuit acţionează în timpul cel mai scurt siguranţele fuzibile, montate în amonte de contactor, întrerupând alimentarea motorului.

Protecţia la scăderea tensiunii este asigurată de însăşi bobina contactorului care dezvoltă o forţă activă mai mică decât forţa rezistentă de îndată ce tensiunea de alimentare scade sub ≈ 70% din valoarea nominală, astfel contactele contactorului se deschid şi deconectează motorul de la reţea.

În cazul alimentării unui motor asincron trifazat prin intermediul unui contactor având electromagnetul de acţionare de curent continuu, se poate

utiliza o punte redresoare.

Contactoarele cu relee de protecție fiind folosite în special la acționarea motoarelor electrice, trebuie să îndeplinească anumite condiții de funcționare selectivă a protecțiilor. Astfel pentru circuitele reprezentate în schema electrică desfăşurată care utilizează pentru protecție relee termice, relee electromagnetice şi siguranțe fuzibile, o caracteristică de protecție corect aleasă este prezentată în figura 5.2.

Caracteristica temporală de protecție, reprezentată prin linia îngroşată, evidențiază modul de realizare al selectivității protecției. Astfel, pentru curenți ce depăşesc curentul nominal până la $(7 \div 10)\cdot I_n$ acționează protecția termică conform caracteristicii ei dependente (curba 1), la suprasarcini cuprinse între $(7\div 10)\cdot$In şi $(15 \div 20)\cdot$In acționează protecția electromagnetică.

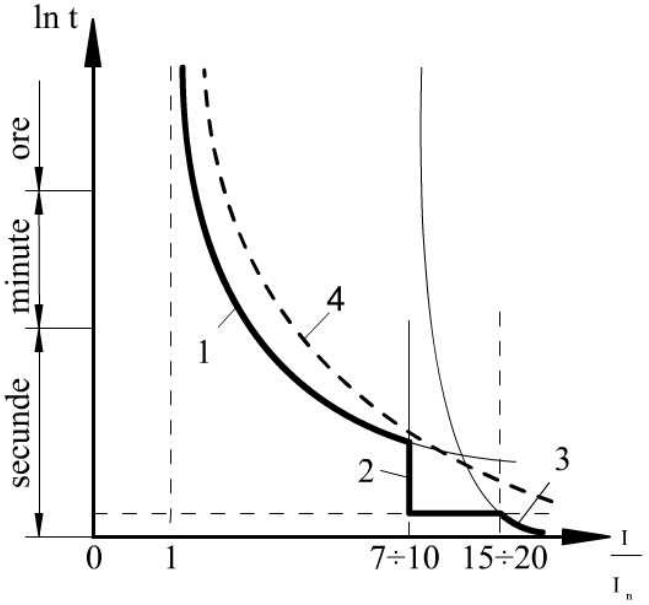


Figura 5.2. Caracteristica temporală de protecție la suprasarcină, supracurent şi scurtcircuit a unui motor asincron

1– caracteristica dependentă a releului termobimetalic,
2– caracteristica indepen-dentă a releului electromagnetic,
3– caracteristica dependentă a siguranței fuzibile,
4– caracteristica de stabilitate termică a motorului.

Într-un timp de ordinul sutimilor de secundă, conform caracteristicii independente (curba 2) iar la scurtcircuite când curentul este mai mare de $(15 \div 20)\cdot$In acționează siguranțele fuzibile într-un timp foarte scurt, conform caracteristicii de protecție a acestora (curba 3).

Curba 4 reprezintă caracteristica de stabilitate termică a motorului protejat. O protecție corectă nu trebuie să intersecteze curba 4, dar nici să nu fie exagerat de depărtată de aceasta pentru a asigura un randament ridicat

motorului.

În cazul unor scurtcircuite, pentru curenţi peste $\approx 10 \cdot I_n$, trebuie să intre în funcţiune siguranţele fuzibile, a căror curbe (2) au alura din figură. Şi în acest caz curba de stabilitate termică a motorului 3, nu trebuie să intersecteze caracteristicile de protecţie.

În cazul des întâlnit în practică când protecţia la suprasarcină este asigurată doar de relee termice şi protecţia la scurtcircuite de către siguranţe fuzibile, caracteristica temporală de protecţie are forma din figura 5.3.. Protecţia asigurată de releele termice are forma curbei 1. Forma dependentă a acestei caracteristici permite ca motorul să suporte un timp determinat (câteva secunde) supracurenţi de $(6 \div 7) \cdot$In caracteristici curenţilor de pornire a motoarelor asincrone.

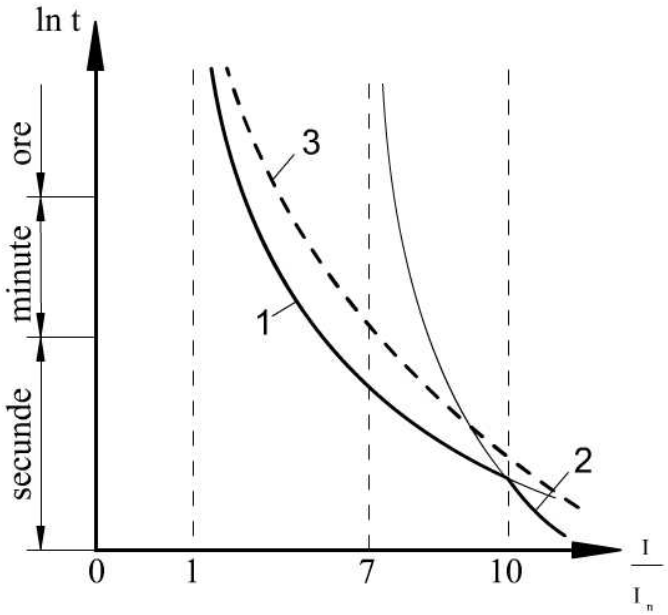


Figura 5.3. Caracteristica temporală de protecţie la suprasarcină şi scurtcircuit a unui motor asincron

1– caracteristica dependentă a releului termobimetalic,
2– caracteristica dependentă a siguranţei fuzibile,
3– caracteristica de stabilitate termică a motorului.

Datorită posibilităţilor de comandă de la distanţă şi cu frecvenţă mare, a adaptabilităţii uşoare la schemele de automatizări contactoarele electromagnetice reprezintă soluţia cea mai uzitată în comanda motoarelor electrice. În instalaţiile complexe cu caracter automat contactoarele servesc nu doar la conectarea şi deconectarea motoarelor ci şi la protecţia acestora prin intermediul releelor cu care sunt dotate.

Exemplificăm rolul contactoarelor în comanda şi protecţia motoarelor

prin câteva scheme electrice desfăşurate uzuale. Menționăm că schemele prezentate pot fi dezvoltate prin înlocuirea contactoarelor acționate cu electromagneți de curent alternativ. cu contactoare acționate cu electromagneți de curent continuu (şi rezistențe economizatoare), adăugarea unor semnalizări şi a unor aparate de măsură şi control.

5.1.2. Comanda cu inversare de sens şi protecția unui motor asincron

În figura 5.4. este prezentată schema electrică desfăşurată de comandă (cu contactoare de curent alternativ), protecție şi inversare de sens a unui motor asincron cu rotor în scurtcircuit. Menționăm că pornirea prin conectare directă la rețea este posibilă doar în cazul motoarelor de mică putere.

Schema electrică cuprinde două contactoare K_1 şi K_2 ce pot asigura prin inversarea a două faze statorice ale statorului funcționarea motorului asincron în ambele sensuri de rotație. Pentru a preveni manevrele greşite schema circuitului de comandă trebuie prevăzută cu o serie de blocaje care să împiedice acționarea simultană a celor două contactoare (echivalentă cu scurtcircuit la bornele rețelei).

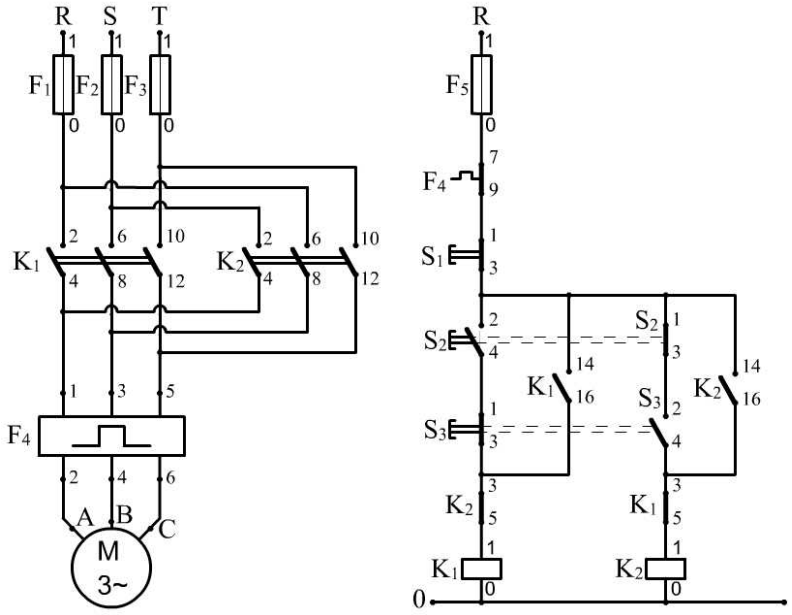


Figura 5.4. Schema electrică de comandă, protecție şi inversare de sens a unui motor asincron

F_1, F_2, F_3, F_5 – siguranțe fuzibile, F_4 – releu termobimetalic,
K_1, K_2 – contactoare electromagnetice, S_1, S_2, S_3 – butoane de acționare,
M – motor asincron cu rotorul în scurtcircuit.

Butoanele de acționare S_2, S_3 comandă rotirea spre stânga sau spre

dreapta a motorului M şi sunt prevăzute cu câte două contacte, unul normal deschis (2 – 4) şi unul normal închis (1 – 3), care acţionează simultan. În serie cu bobinele celor două contactoare se află câte un contact normal închis a celuilalt contactor.

Dacă motorul nu este conectat contactele K_1 (3–5) şi K_2 (3–5) sunt închise şi prin acţionarea unuia din butoanele de pornire (S_2 sau S_3) se asigură alimentarea bobinei contactorului K_1 (0–1) sau K_2 (0–1). Dacă spre exemplu am acţiona butonul S_2 alimentând bobina contactorului K_1 acesta îşi închide contactele principale K_1 (2–4, 6–8, 10–12) şi asigură un sens de rotaţie al motorului.

Pentru inversarea sensului de rotaţie a motorului, acesta trebuie mai întâi oprit prin acţionarea butonului S_1 şi apoi prin acţionarea lui S_3 se asigură conectarea contactorului K_2, care îşi închide contactele principale, contactul de automenţinere K_2 (14–16) şi îşi deschide contactul auxiliar de interblocare K_2 (3–5). Prin oprirea motorului înaintea inversării de sens se elimină posibilitatea unor manevre greşite şi se reduce şocul de curent (la inversarea bruscă a sensului câmpului magnetic învârtitor şocul de curent este dublul curentului de pornire a motorului.

5.1.3. Comanda şi protecţia unui motor asincron cu pornire stea-triunghi

Majoritatea motoarelor nu permit pornirea prin conectare directă la reţea şi necesită metode speciale de pornire care urmăresc reducerea şocului de curent concomitent cu obţinerea unor parametrii energetici cât mai buni.

Una din metodele cele mai folosite de pornire a motoarelor asincrone cu rotor în scurt circuit este pornirea stea–triunghi a cărei schemă electrică desfăşurată este prezentată în figura 5.4.

Conform diagramei prezentate în figura 1.27 la pornirea stea–triunghi datorită alimentării iniţial a motorului cu tensiunea de fază, curentul de pornire (dar şi momentul de pornire) sunt de trei ori mai mici decât în cazul conectării directe la reţea la tensiunea de linie.

Rezultă că această metodă de pornire se poate aplica motoarelor cu porniri uşoare (cu sarcină redusă sau cu cuplaje). Motoarele asincrone cu rotor în scurtcircuit care folosesc pornirea stea–triunghi trebuie să aibă tensiunea nominală egală cu tensiunea de linie a reţelei şi să aibă acces la ambele capete ale bobinelor statorice (şase borne statorice pe cutia de borne).

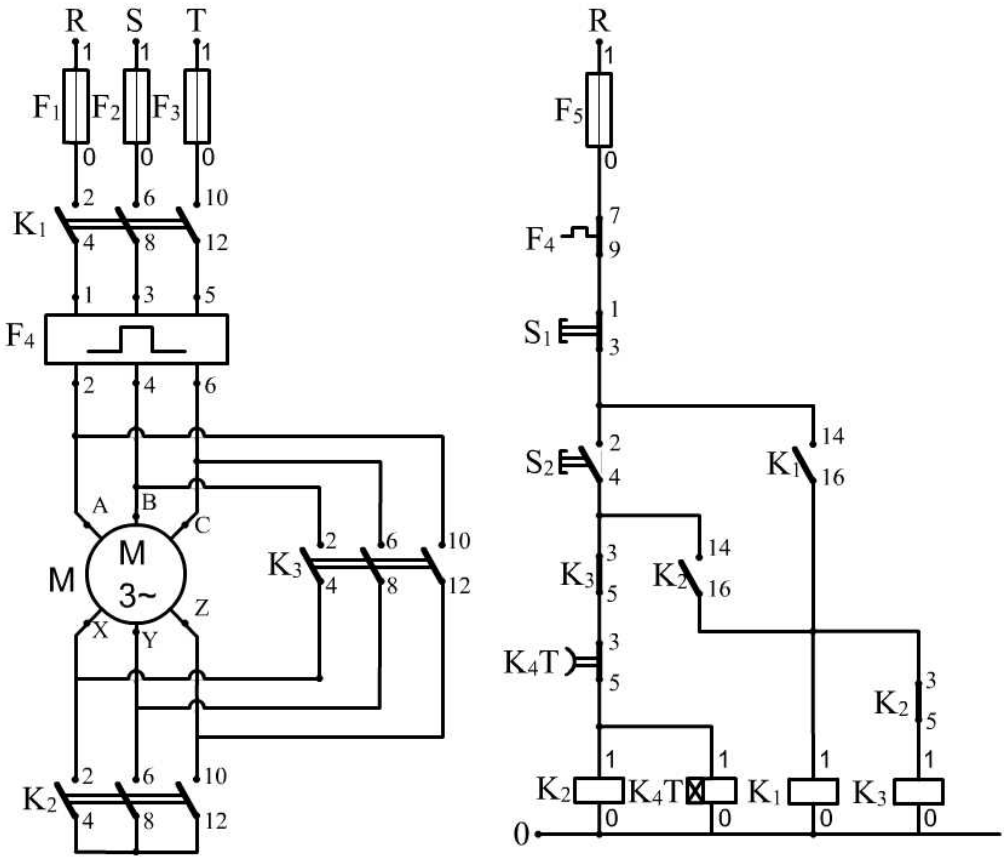


Figura 5.5. Schema electrică de comandă cu contactoare de c.a., protecție şi pornire Y-Δ a unui motor asincron cu rotorul în scurtcircuit

F_1, F_2, F_3, F_5 – siguranțe fuzibile, F_4 – releu termobimetalic, K_1, K_2, K_3 – contactoare electromagnetice, K_4T – releu de timp cu temporizare la acționare, S_1, S_2 – butoane de acționare, M – motor asincron cu rotorul în scurtcircuit.

Pentru pornire se acționează butonul S_2 care alimentează bobina contactorului K_2 dacă contactul normal închis de interblocare K_3 (3–5) nu este deschis. Deci dacă conexiunea triunghi nu este realizată K_2 prin contactele sale principale realizează conexiunea stea şi apoi prin K_2 (14–16) alimentează bobina contactorului principale K_1 (0–1) care se automențínere prin K_1 (14–16).

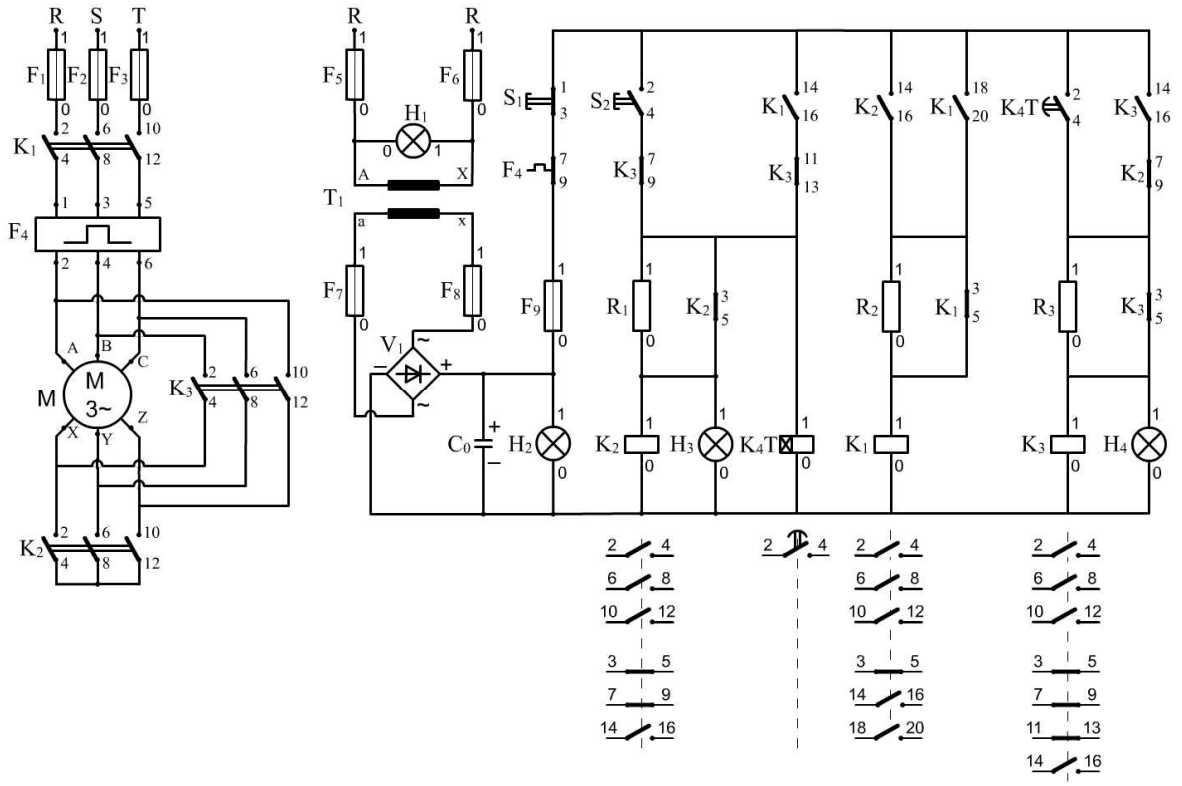


Figura 5.6. Schema electrică desfăşurată de comandă cu contactoare de c.c., protecţie şi pornire Y-Δ a unui motor asincron cu rotorul în scurtcircuit

F_1, F_2, F_3, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9, – siguranţe fuzibile, F_4 – releu termobimetalic, K_1, K_2, K_3 – contactoare electromagnetice, K_4T – releu de timp cu temporizare la acţionare S_1, S_2 – butoane de acţionare, M – motor asincron cu rotorul în scurtcircuit, H_1, H_2, H_3, H_4– lămpi de semnalizare, T–transformator de separare, V–punte redresoare, R_1, R_2, R_3– rezistenţe economizatoare, C_0– condensator de filtraj.

O dată cu alimentarea lui K_2 este alimentată şi bobina releului de timp K_4T (0–1) care îşi începe temporizarea.

După trecerea timpului prestabilit contactorul K_4T îşi deschide contactul normal închis cu temporizare la acţionare K_4T (3–5) deconectând contactorul K_2 şi readucând în poziţia închisă contactul K_2 (3–5). În acest moment se realizează conexiunea triunghi prin contactele principale ale contactului K_3. Motorul rămâne alimentat în regim de durată în conexiune triunghi.

Pentru oprire se acţionează butonul S_1 care întrerupe alimentarea schemei de comandă şi aduce la starea iniţială instalaţia.

O schemă similară celei din figura 5.5 dar realizată cu contactoare de curent continuu este prezentată în figura 5.6.

Schema conţine transformatorul de separare T_1 cu rolul de a separa

galvanic instalația de comandă de cea de forță. Puntea redresoare V alimentează schema de comandă cu tensiunea continuă necesară.

Siguranțele F_1 ... F_9 asigură protecții la scurt circuit a instalației de forță şi de comandă. Rezistențele R_1, R_2, R_3 sunt rezistențe economizatoare cu rolul de a limita curentul prin bobinele de c.c. ale contactoarelor şi de a limita în acest mod solicitarea lor termică.

Lămpile de semnalizare H_1...H_4 semnalizează: H_1–prezența tensiunii în rețeaua de alimentare, H_2–prezența tensiunii de comandă, H_3 – funcționarea în conexiune stea a motorului, H_4–funcționarea în conexiune triunghi a motorului. Caracteristica temporală de protecție a motorului este cea prezentată în figura 5.3.

5.1.4. Comanda şi protecția unui motor asincron cu pornire cu reostate statorice

O altă metodă de pornire a motoarelor asincrone cu rotor în scurtcircuit constă în pornirea cu reostate statorice, a cărei schemă electrică desfăşurată de comandă şi protecție este prezentată în figura 5.7.

Metoda de pornire cu reostate statorice a motoarelor asincrone este o metodă de pornire cu tensiune redusă (şi deci cu moment de pornire redus) care limitează valoarea curentului de pornire. Circuitul de forță conține contactoarele K_1 şi K_2 care alimentează succesiv motorul M.

Prin acționarea butonului de pornire S_2 este alimentată bobina contactorului K_2 dacă contactul de interblocare K_1 (3–5) este închis anume K_1 nu este acționat. Contactorul K_2 se automenținer prin K_2 (14–16) şi concomitent cu el este alimentat releul de timp K_3T.

După trecerea timpului prestabilit contactul normal deschis cu temporizare la acționare K_3T (2–4) se închide alimentând bobina contactorului K_1 (0–1) care deschide contactul auxiliar K_1 (3–5), închide contactele de forță şi contactul de automenținer K_1 (14–16). Astfel motorul rămâne alimentat în regim de durată la tensiunea nominală a rețelei.

Pentru oprire se acționează butonul S_1 care întrerupe alimentarea circuitului de comandă readucând circuitul de forță la starea inițială.

Protecția la scurtcircuit a motorului şi a circuitului de comandă se realizează prin siguranțe fuzibile, iar protecția la suprasarcină a motorului este asigurată de blocul de relee termobimetalice F4.

Caracteristica temporală de protecție a circuitului de forță este cea reprezentată în figura 5.3.

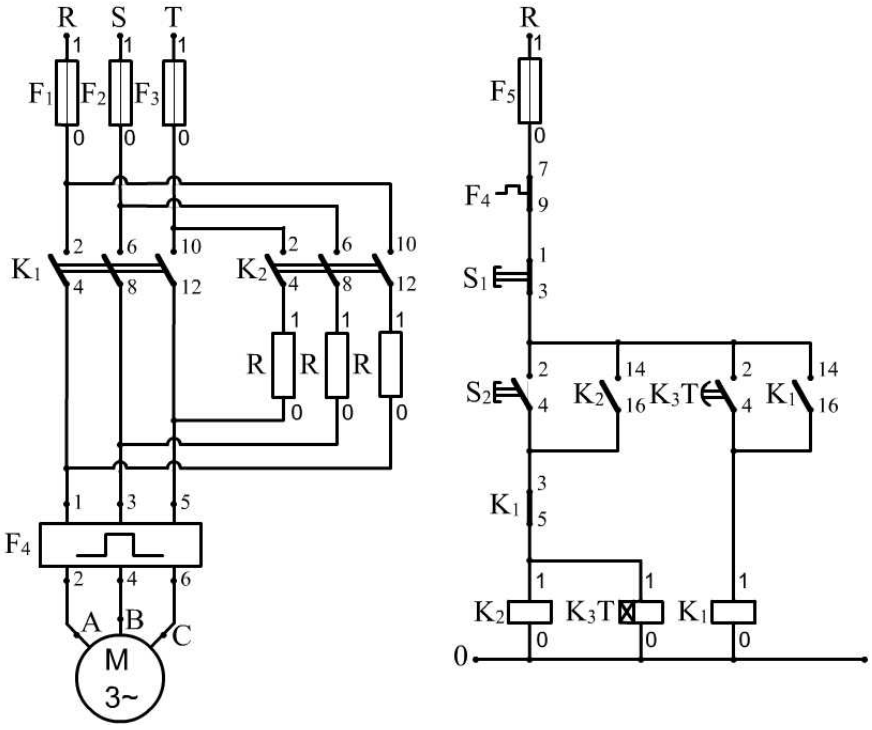


Figura 5.7. Schema electrică desfăşurată de comandă, protecție şi pornire cu rezistențe statorice a unui motor asincron

F_1, F_2, F_3, F_5 – siguranțe fuzibile, F_4 – releu termobimetalic, K_1, K_2 – contactoare electromagnetice, K_3T – releu de timp cu temporizare la acționare, S_1, S_2 – butoane de acționare, M – motor asincron cu rotorul în scurtcircuit, R – reostate de pornire.

În mod analog se poate realiza schema electrică de comandă şi protecție cu mai multe trepte de rezistențe a motorului.

5.1.5. Comanda şi protecția unui motor asincron pornit cu autotransformator

Pornirea motoarelor asincrone prin autotransformator este soluția optimă din punct de vedere energetic dar implică costuri mai mari, de aceea ea se justifică în cazul motoarelor de putere.

Schema electrică desfăşurată de comandă şi protecție a pornirii cu autotransformator a unui motor asincron este prezentată în figura 5.8.

Pentru pornirea motorului se acționează butonul S_2 care alimentează bobina contactorului K_1 şi prin acesta şi bobina contactorului K_2. Automenținerea se face prin K_2 (14–16) alimentând motorul cu tensiune redusă prin autotransformatorul AT (limitându-se astfel curentul de pornire).

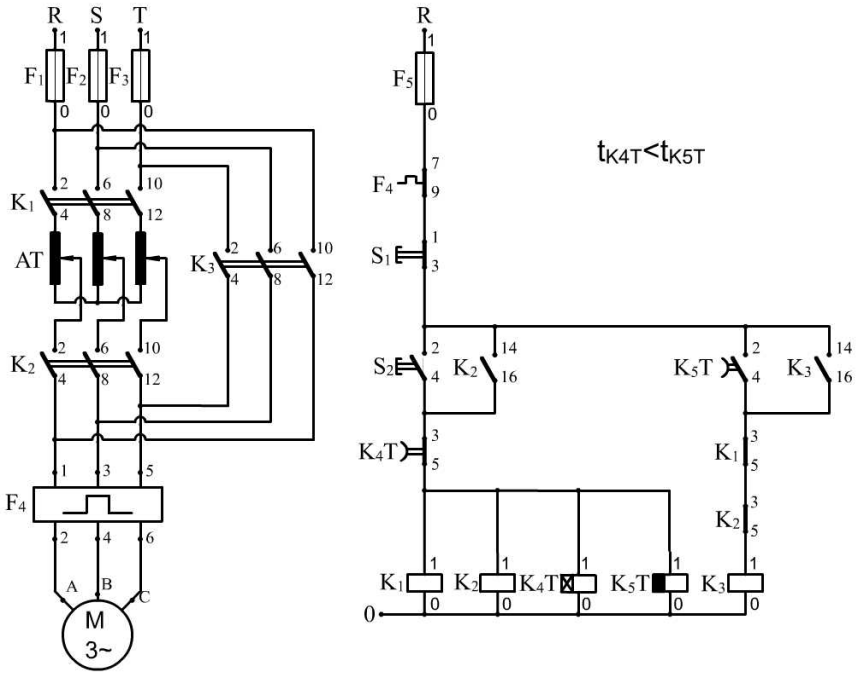


Figura 5.8. Schema electrică desfăşurată de comandă, protecţie şi pornire cu autotransformator a unui motor asincron

F_1, F_2, F_3, F_5 – siguranţe fuzibile, F_4 – releu termobimetalic, K_1, K_2 – contactoare electromagnetice, K_3T – releu de timp cu temporizare la acţionare, K_4T – releu de timp cu temporizare la revenire, S_1, S_2 – butoane de acţionare, M – motor asincron cu rotorul în scurtcircuit, AT – autotransformator.

O dată cu contactoarele K_1 şi K_2 se alimentează şi bobinele celor două relee de timp K_4T şi K_5T care îşi încep temporizarea. Contactele normal închise K_1 (3–5) şi K_2 (3–5) se deschid.

Prin alimentarea bobinei K_5T contactul normal deschis cu temporizare la revenire K_5T (2–4) se închide dar nu poate alimenta bobina lui K_3 deoarece sunt deschise contactele K_1 (3–5) şi K_2 (3–5). După scurgerea timpului reglat al releului de timp K_4T contactul acestuia normal închis cu temporizare la acţionare K_4T (3–5) se deschide. În acest moment se întrerupe alimentarea contactoarelor K_1, K_2 şi a releelor de timp K_4T şi K_5T. Prin reînchiderea contactelor K_1 (3–5) şi K_2 (3–5) şi prin contactul noemal deschis (dar închis în acest moment deoarece temporizarea releului K_5T este mai mare decât a releului K_4T) cu temporizare la revenire K_5T (2–4) este alimentată bobina contactorului K_3 (0–1) care îşi închide contactele principale. Motorul este astfel alimentat la tensiune nominală K_3 automenţinându-se prin contactul auxiliar de automenţinere K_3 (14–16). Pentru oprire se acţionează butonul S_1.

Protecţiile sunt cele descrise anterior şi cărora le corespunde caracteristica temporală de protecţie din figura 5.3.

5.1.6. Comanda şi protecţia unui motor asincron pornit cu rezistenţe rotorice

În figura 5.9. este prezentată schema electrică desfăşurată de comandă şi protecţie pentru pornirea cu rezistenţe rotorice în două trepte temporizate a motoarelor asincrone cu rotorul bobinat.

La pornirea motoarelor asincrone cu rotor bobinat se pot introduce două sau mai multe trepte de rezistenţe cu rolul de a limita şocurile de curent la pornire. Treptele de rezistenţe rotorice se scurtcircuitează succesiv şi în mod automat prin comanda dată de releele de temporizare.

Contactorul K_1 asigură conectarea la reţea a statorului iar contactoarele K_2 şi K_3 scurtcircuitează pe rând treptele de rezistenţe rotorice R_1, R_2. Pornirea se comandă prin butonul de acţionare S_2 şi dacă contactele K_2 şi K_3 nu sunt acţionate (adică K_2 (3–5) şi K_3 (3–5) sunt închise) este alimentat contactorul principal K_1 care se automenţine prin K_1 (14–16). Prin K_1 (18–20) şi K_2 (7–9) este alimentat releul de timp K_5T care după trecerea temporizării prin contactul normal deschis cu temporizare la acţionare K_5T (2–4) alimentează pe K_3 scurtcircuitând prima treaptă de reostate (R_2) şi alimentând pe K_4T care îşi începe temporizarea.

După scurgerea temporizării lui K_4T prin contactul normal deschis cu temporizare la acţionare K_4T (5–7) este alimentat contactorul K_2 care se automenţine prin K_2 (10–12) şi decuplează prin K_2 (7–9) releele de temporizare şi contactorul K_3. În regim de durată motorul nu are rezistenţă în circuitul rotoric.

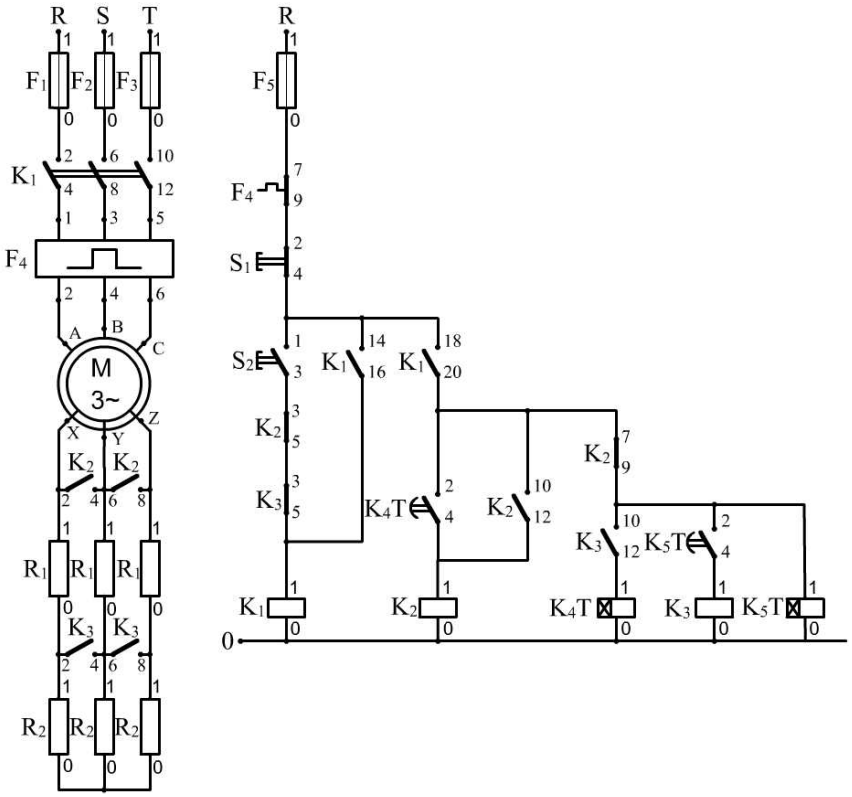


Figura 5.9. Schema electrică desfăşurată de comandă, protecție şi pornire cu reostate rotorice a unui motor asincron cu rotorul bobinat

F_1, F_2, F_3, F_5 – siguranțe fuzibile, F_4 – releu termobimetalic, K_1, K_2, K_3 – contactoare electromagnetice, K_4T , K_5T – relee de timp cu temporizare la acționare, S_1, S_2 – butoane de acționare, M – motor asincron cu rotorul bobinat, R_1, R_2 – reostate de pornire

Pentru oprire se acționează butonul S_1 care întrerupe alimentarea circuitului de comandă şi readuce instalația la starea inițială. Protecția la scurtcircuit se realizează prin siguranțe fuzibile iar cea la suprasarcină prin blocul de relee termobimetalice F_4.

Caracteristica temporală de protecție este cea din figura 5.3.

5.1.7. Protecția minimală de tensiune a motoarelor electrice

Protecția minimală de tensiune are rolul de a preveni scăderea tensiunii de alimentare sub o anumită limită admisă pentru a evita supraîncălzirea motoarelor datorită curenților de suprasarcină. În cazul mai multor motoare alimentate de la acelaşi sistem de bare, protecția mai are rolul de a deconecta unele motoare pentru a păstra în funcțiune motoarele ce antrenează consumatori importanți.

Protecția minimală de tensiune se realizează cu relee minimale de tensiune şi cu relee de timp, sub forma unui grup separat de relee pentru fiecare motor, sau a unui grup comun pentru mai multe motoare Cu o temporizare mică (0,5s) este declanşat grupul motoarelor de importanță secundară iar cu o temporizare mai mare (5÷10s) este declanşat şi grupul motoarelor importante dacă tensiunea nu a reuşit să revină la valoarea reglată.

Contactele releelor minimale de tensiune se leagă în serie pentru a produce acționarea numai la scăderea tensiunii pe toate fazele. În cazul în care tensiunea scade sub valoarea de pornire a releelor, acestea îşi închid contactele şi excită releele de timp, dacă tensiunea nu îşi revine în 0,5 s releul de timp comandă prin intermediul unor relee intermediare deconectarea motoarelor, scăzând astfel consumul de la sistemul comun de bare. În cazul în care scăderea tensiunii se menține până la temporizări de ordinul 5 ÷ 10 s se comandă deconectarea tuturor motoarelor.

5.1.8. Protecția motoarelor asincrone de putere la scurtcircuite polifazate

Protecția împotriva scurtcircuitelor polifazate a motoarelor de putere, în cazul motoarelor de putere mare alimentate prin întrerupătoare, se poate realiza fie printr-o protecție diferențială longitudinală, fie printr-o protecție maximală de curent.

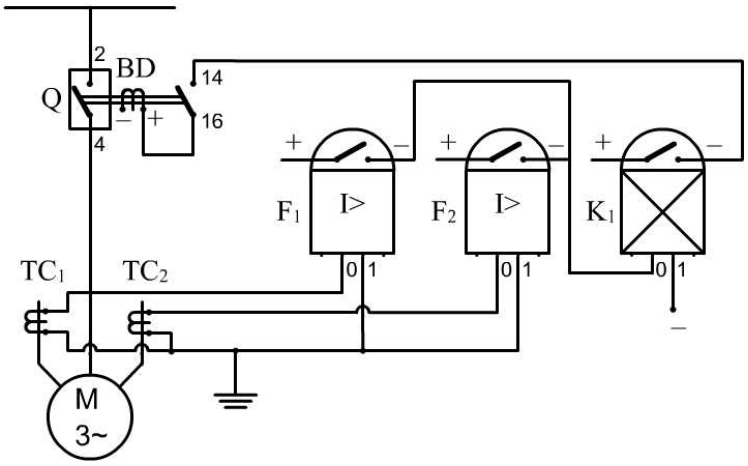


Figura 5.10. Schema electrică desfăşurată monofilară de comandă şi protecție maximală de curent împotriva scurtcircuitelor polifazate

F_1, F_2– relee maximale de curent, K_1– releu intermediar, Q– întrerupător, BD– bobina declanşatorului, TC1, TC2– transformatoare de curent, M–motor asincron trifazat.

Prima dintre ele se utilizează la motoarele de putere foarte mare şi se realizează cu o schemă similară celei din figura 5.10, motorul trebuind să aibă nulul accesibil.

Curentul de scurtcircuit provoacă acţionare releelor maximale F_1 şi / sau F_2, care excită releul intermediar K_1 şi care la rândul său provoacă alimentarea bobinei de declanşare a întrerupătorului Q. Declanşarea motorului de la reţea se face fără temporizare. Datorită componentei homopolare a curenţilor de defect este suficientă folosirea a două relee maximale de curent pentru sesizarea defectelor din statorul motorului.

Releul intermediar K_1 poate fi uneori înlocuit cu un contactor de comandă dacă este nevoie de un curent mai mare pentru excitare bobinei de declanşare (BD) care comandă declanşarea întrerupătorului Q.

5.1.9. Protecţia diferenţial longitudinală a motoarelor sincrone de putere

Pentru comanda şi protecţia motoarelor sincrone se folosesc contactoare cu relee de protecţie, pentru regimurile cu conectări frecvente sau întrerupătoare cu declanşatoare pentru motoarele de putere care necesită deconectarea rapidă de la reţeaua de alimentare.

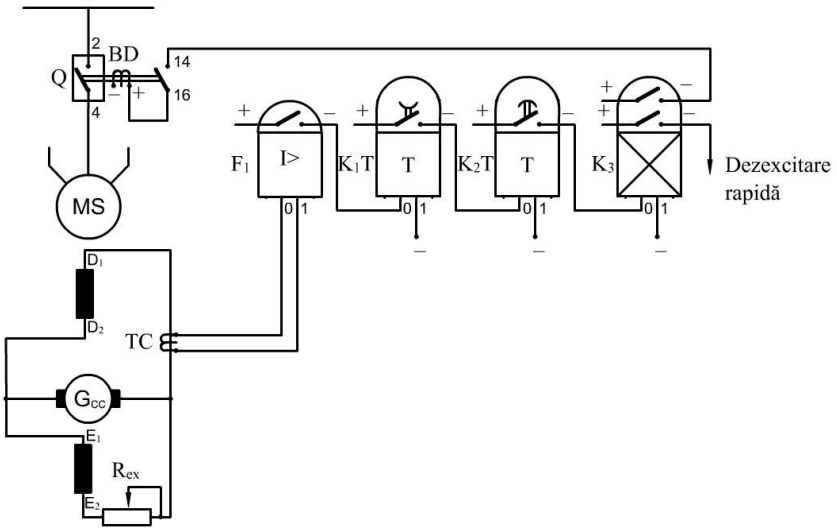


Figura 5.11. Schema electrică desfăşurată monofilară de comandă şi protecţie împotriva ieşirii din sincronism a unui motor sincron

Ms– motor sincron, TC– transformator de curent, F_1– releu maximal de curent, K_1T, K_2T– relee de temporizare, K_3– releu intermediar, G_{cc}– excitatrice, R_{ex}– rezistenţă de reglaj, Q– întrerupător principal, BD– bobina declanşatorului.

La apariția pendulărilor în rețeaua la care este conectat statorul motorului sincron se produc pulsații mari ale curentului din stator. Acest curent variabil produce un flux variabil în timp care induce o tensiune electromotoare în înfăşurarea rotorică. Pe apariția acestei componente se bazează schema de protecție diferențial longitudinală prezentată în figura 5.11.

Schema utilizează un transformator de curent TC conectat în circuitul rotorului, un releu maximal de curent F_1, un releu intermediar K_1T cu un contact cu temporizare la deschidere, un releu de timp K_2T şi un releu intermediar K_3 cu un rol de declanşare a întrerupătorului principal Q şi de dezexcitare al rotorului prin intermediul A.D.R. În regim sincron prin înfăşurarea rotorului generatorului sincron nu circulă decât curentul continuu produs de excitatoarea G_{cc}.

La ieşirea din sincronism, datorită pendulărilor, componenta alternativă a curentului care apare în circuitul rotorului este sesizată de transformatorul de curent TC, se excită releul maximal F_1, releul intermediar cu temporizare K_1T acționează şi releul de timp K_2T comandă după timpul reglat, prin intermediul releului K_3 declanşarea motorului şi dezexcitarea sa.

Temporizarea realizată prin intermediul releului K_1T este necesară pentru că în timpul pendulărilor curentul ar putea să devină mai mic decât curentul de revenire al releului F_1, oprindu-se pentru scurtă durată alimentarea releului K_2T. Prin contactul său releul K_1T asigură deci prelungirea duratei impulsului. Releul de timp K_2T este necesar ca protecția să nu acționeze intempestiv la apariția unor componente, ce urmează a fi înlăturate de protecțiile specifice împotriva scurtcircuitelor.

5.2. PROTECȚIA GENERATOARELOR SINCRONE

Funcționarea normală a unui generator sincron poate fi perturbată de defectele interioare sau de regimurile anormale ale rețelei exterioare.

Defectele interioare se datorează în special scurtcircuitelor din înfăşurările statorice sau rotorice (dezexcitație). Eliminarea rapidă a cestor defecte este necesară pentru a se evita distrugerea generatorului prin efectele termice sau electrodinamice ale curenților de scurtcircuit. Deconectarea rapidă a generatorului de la rețea se face prin întrerupătorul principal Q şi prin reducerea tensiunii electromotoare indusă în stator, prin micşorarea sau întreruperea curentului de excitație prin întrerupătorul de dezexcitare rapidă (ADR) din circuitul rotoric.

5.2.1. Protecția diferențială longitudinală a unui generator sincron

Principul acestei protecții se bazează pe compararea sensurilor şi valorilor curenților de la intrarea şi ieşirea fiecărei faze a generatorului. Schema de principiu, monofilară, a acestei protecții este prezentată în figura 5.12. Pentru realizarea schemei nulul generatorului sincron trebuie să fie accesibil, iar cele doua transformatoare de curent de pe fiecare fază TC_1 şi TC_2 trebuie să aibă rapoartele de transformare egale şi caracteristici identice.

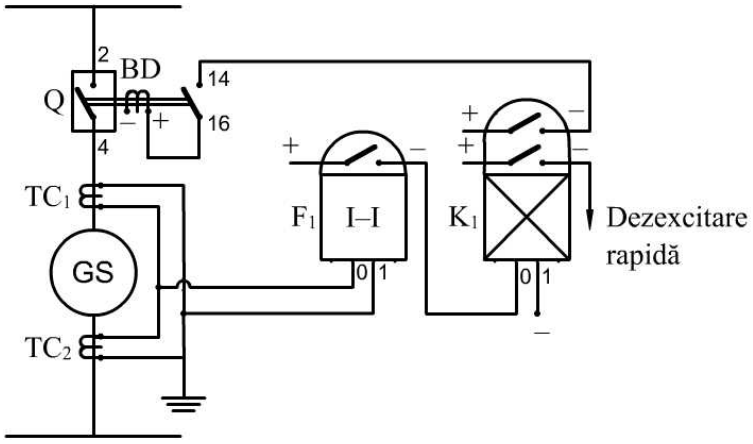


Figura 5.12. Schema electrică desfăşurată monofilară de comandă, protecție diferențială longitudinală a unui generator sincron

GS– generator sincron, Q– întrerupător, BD– bobina declanşatorului, TC_1, TC_2– transformatoare de curent, F_1– releu diferențial de curent, K_1– releu intermediar.

În cazul unui scurtcircuit în interiorul generatorului curenții din secundarele celor două transformatoare de curent se însumează prin releul maximal F_1, acesta acționează şi excită releul intermediar K_1 care comandă declanşarea întrerupătorului principal Q şi a automatului de dezexcitare rapidă (A.D.R.). Schema asigură o declanşare instantanee la scurtcircuitele din înfăşurarea statorică a generatorului sincron.

5.2.2. Protecția împotriva scurtcircuitelor rotorice a generatoarelor sincrone

Schema cuprinde un releu maximal de curent F_1, un releu intermediar K_1, un transformator T având una din bornele înfăşurării secundare legate la pământ şi un condensator C cu rolul de a separa circuitul de curent continuu

al rotorului, de circuitul de curent alternativ legat la pământ.

În cazul unei puneri la pământ a înfăşurării rotorice a generatorului sincron GS, se închide circuitul de curent alternativ format din secundarul transformatorului T, releul maximal F_1, condensatorul C şi pământ, fapt care determină acţionarea releului F_1.

Prin contactul normal deschis a releului F_1 se excită releul intermediar K_1 care prin contactele sale comandă declanşarea generatorului şi dezexcitarea rapidă a înfăşurării de excitaţie.

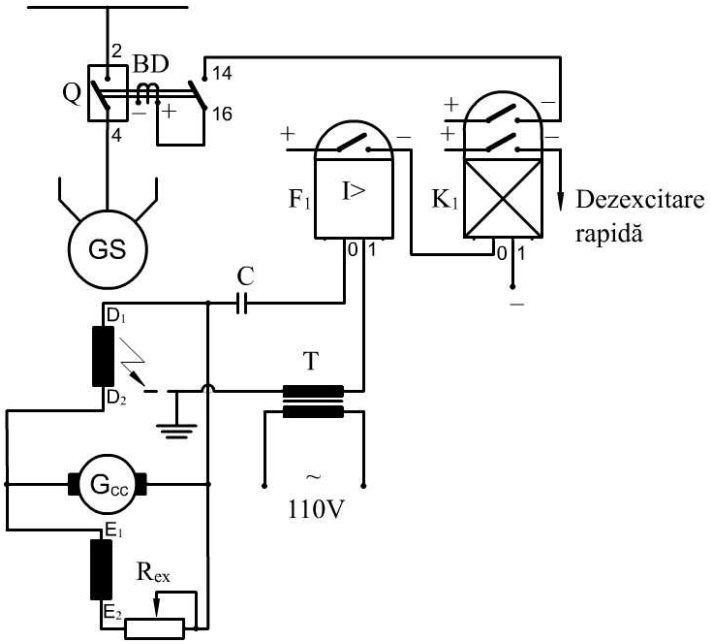


Figura 5.13. Schema electrică desfăşurată monofilară de comandă şi protecţie împotriva scurtcircuitelor rotorice

GS– generator sincron, Q– întrerupător principal, BD–bobina declanşatorului, G_{cc}– excitatrice, R_{ex}– reostat de reglare a excitaţiei, F_1– releu maximal de curent, K_1– releu intermediar, T–transformator, C–condensator.

5.2.3. Protecţia maximală cu tăiere de curent a unui generator sincron

Se utilizează împotriva scurtcircuitelor polifazate şi suprasarcinilor exterioare generatorului.

În figura 5.14. este prezentată schema electrică monofilară a protecţiei maximale cu tăiere de curent. Releele maximale de curent F_1...F_4 acţionează. la apariţia unor scurtcircuite exterioare şi excită releul de timp K_1T, care din motive de selectivitate a protecţiei are cea mai mare temporizare din sistem. Releul de timp K_1T excită releul intermediar K_2 numai dacă protecţiile

anterioare (ale rețelelor şi transformatoarelor) nu acționează, provocând declanşarea generatorului cu temporizarea reglată.

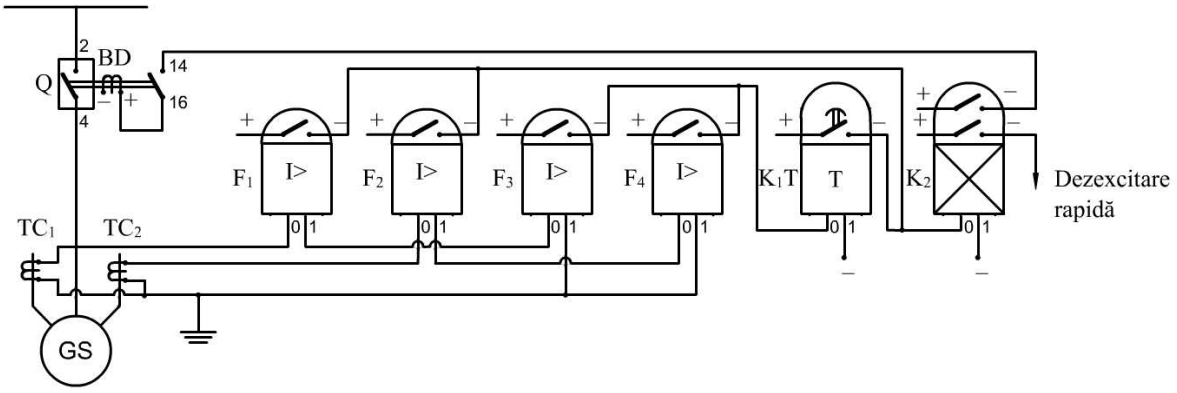


Figura 5.14. Schema electrică desfăşurată monofilară de comandă şi protecție maximală cu tăiere de curent a unui generator sincron

GS– generator sincron, TC_1, TC_2– transformatoare de curent, Q– întrerupător principal, BD– bobina declanşatorului, F_1...F_4– relee maximale de curent, K_1T– releu de temporizare, K_2– releu intermediare.

Scurtcircuitele violente sunt sesizate de releele maximale de curent F_1 şi F_2 (reglate la o valoare de pornire mai mare decât a releelor maximale de curent F_3, F_4) provocând acționarea instantanee a releului intermediar K_2 ce comandă declanşarea generatorului de la rețea şi dezexcitarea sa rapidă. Aceste relee asigură aşa numita tăiere de curent pentru curenții de scurtcircuit intenşi.

5.2.4. Protecția prin bobine de reactanță a generatoarelor sincrone

Bobinele de reactanță sunt aparate care servesc la limitarea curenților de scurtcircuit în circuitele electrice de mare putere şi la menținerea tensiunii la bare, în caz de avarie, la un nivel acceptabil, care să asigure funcționarea fără întrerupere a consumatorilor neafectați.

Limitarea valorii curenților de scurtcircuit prin instalarea bobinelor de reactanță la barele colectoare ale centralelor electrice, în stațiile de transformare, precum şi la liniile care pleacă de la aceste bare, plasate după cum se ilustrează în figura 5.15. deşi complică şi scumpeşte instalațiile, realizează condiții mai bune pentru funcționarea elementelor celor mai sensibile echipamente la aceste avarii: cablurile (sub aspectul stabilității termice), întrerupătoarele (sub aspectul puterii de rupere), permițând alegerea unor echipamente pentru valori mai mici ale curenților de scurtcircuit.

Bobina de reactanță este o bobină fără miez de fier (pentru a avea o inductivitate constantă) şi la tensiuni sub 35 kV se realizează în aer.

Rigidizarea bobinajului împotriva forțelor electrodinamice realizându-se prin înglobarea parțială a acesteia în beton sau în răşini epoxidice. Pentru tensiuni mai mari de 35 kV, bobinele de reactanță sunt de tip exterior, mediul de răcire fiind uleiul mineral cuprins în interiorul unei cuve în care se află şi un ecran.

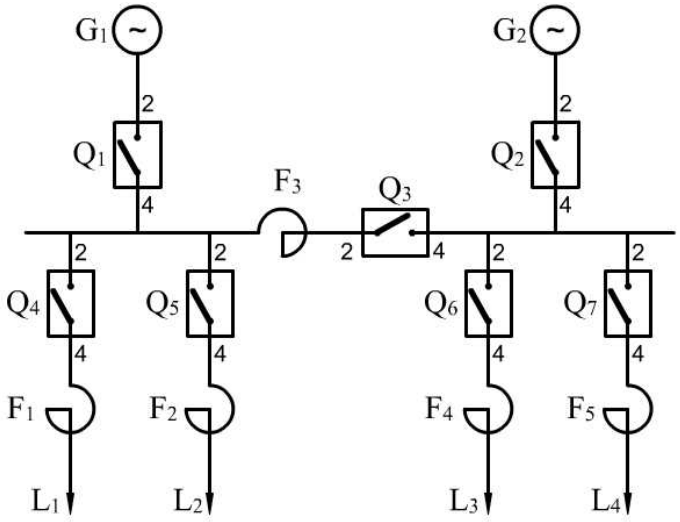


Figura 5.15. Schema electrică de conectare în rețele a bobinelor de reactanță

F_1...F_5–bobine de reactanțe, Q_1...Q_7–întrerupătoare,
G_1, G_2–generatoare sincrone.

Parametrul principal al bobinei de reactanță este reactanța bobinei (X_r) al cărei principal efect este căderea de tensiune pe bobină.

Reactanța procentuală (raportată) X_r*[%] este un indicator al posibilităților de limitare a curentului şi este de obicei (6 ÷ 8) % pentru cablurile de plecare şi (8÷12) % pentru bobinele de reactanță destinate barelor colectoare.

Pentru a evidenția efectul bobinei de reactanță în circuitul protejat în figura 5.16. s-a reprezentat căderea de tensiune pe o plecare într-un cablu, la regimul nominal şi în. regimul de scurtcircuit. Se observă că mărimea căderii de tensiune pe bobina de reactanță în regimul de scurtcircuit, asigură pe barele o tensiune U_{rem} de valoare apropiată cu cea nominală, iar curentul de scurtcircuitare este limitat.

Bobinele de reactanță în aer se execută fără miez de fier şi încastrate în beton. Pentru încastrarea căilor de curent, realizate din aluminiu sau cupru, se folosesc 6 ÷ 10 coloane de beton. Între spirele bobinei se lasă spații libere

pentru accesul aerului de răcire. Betonul bobinei este tratat pentru a nu se înrăutății rigiditatea dielectrică a izolației spirelor, fiind acoperit după uscare cu un lac nehigroscopic.

Bobinele celor 3 faze pot fi montate atât vertical, cât şi orizontal.

Dezavantajele bobinelor de reactanță încastrate în beton sunt: tehnologia complicată de prelucrare şi uscare, precum şi greutatea şi dimensiunile de gabarit mari.

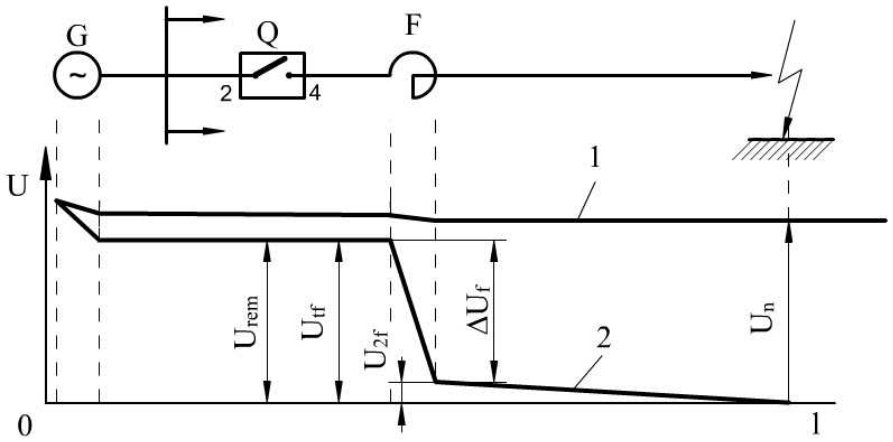


Figura 5.16. Rolul bobinei de reactanță în protecția la scurtcircuit

La bobinele de reactanță în cuvă metalică cu ulei trebuie luate măsuri pentru limitarea fluxului magnetic prin pereții cuvei şi ca urmare atât uleiul cât şi cuva s-ar încălzi puternic. Din această cauză în interiorul cuvei se montează un ecran inelar din cupru sau aluminiu, fixat pe pereții cuvei.

Compensarea este cu atât mai bună cu cât rezistența electrică a ecranului este mai redusă.

Condițiile impuse prin normative bobinelor de reactanță sunt:

–supratensiunile nu trebuie să producă străpungeri sau puneri la pământ a elementelor înfăşurării;

–stabilitatea termică şi electrodinamică să fie ridicată;

–căderile de tensiune în regim normal de funcționare să nu depăşească (1 ÷ 3) % din tensiunea nominală; I –pierderile de putere în bobină să fie cuprinse între (0,2 ÷ 0,5) % din puterea ce trece prin bobină.

5.3. PROTECȚIA TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE

Defectele ce pot apărea la transformatoare pot fi defecte interne şi defecte externe. Defectele interne ca: scurtcircuitele între spirele aceleaşi faze, scurtcircuite între înfăşurări, scurtcircuite între înfăşurări şi cuvă, sau la

bornele transformatorului, pot fi eliminate cu ajutorul protecției cu relee de gaze (Buchholz), protecției diferențiale longitudinale sau a protecției de cuvă (Chevalier).

În cazul unor scurtcircuite exterioare se folosesc protecțiile maximale de curent temporizate, cu sau fără blocaj de tensiune minimă, iar în cazul suprasarcinilor se folosesc protecții de semnalizare.

În cele ce urmează se prezintă câteva din aceste scheme de protecție.

5.3.1. Protecția de gaze a transformatoarelor în ulei

Această protecție se utilizează pentru protecția transformatoarelor, de putere în cuvă cu ulei împotriva defectelor interne. Elementul specific al acestei protecții este releul de gaze (Buchholz) care a fost prezentat în capitolul 3.2.6. şi reprezentat schematic în figura 3.38.

Acest releu se montează pe conducta de legătură dintre cuva transformatorului şi conservatorul de ulei, fiind format din două plutitoare ce au ataşate câte un microîntrerupător cu mercur care se pot roti în jurul axelor lor.

La producerea unor scurtcircuite interioare, se produce vaporizarea uleiului sub acțiunea arcului electric, gazele adunându-se în partea superioară a releului Buchholz, provoacă coborârea plutitorului inferior care prin contactele sale provoacă declanşarea transformatorului şi semnalizarea declanşării.

Plutitorul inferior este prevăzut cu o clapetă de şoc ce produce bascularea instantanee, a plutitorului sub acțiunea undei de presiune ce însoțeşte scurtcircuitele violente.

Schema electrică a protecției de gaze este prezentată în figura 5.17. şi conține releul de gaze F_1, releul de semnalizare a declanşării K_1, releul intermediar cu temporizare la deschidere K_2 şi releul intermediar K_3 care comandă declanşarea întrerupătoarelor Q_1 şi Q_2. Dispozitivul de deconectare S_1 permite funcționarea schemei doar pe partea de semnalizare.

La o dezvoltare de gaze în cuva transformatorului, prin ridicarea lor spre conservator se adună în partea superioară a releului de gaze provocând coborârea primului plutitor care conduce la închiderea contactului superior al releului F_1 care are rol de semnalizare a apariției unei avarii.

Dacă defectul persistă sau este un scurtcircuit violent, se închide şi contactul inferior al releului F_1 care comandă prin releul intermediar K_3 declanşarea întrerupătoarelor Q_1 şi Q_2 şi în acelaşi timp prin releul de semnalizare K_1 semnalizează declanşarea.

Deoarece impulsul dat de contactul inferior al releului Buchholz poate fi de prea scurtă durată (în funcție de caracterul degajării de gaze) schema este prevăzută cu releul intermediar K_2 cu un contact normal deschis cu

temporizare la deschidere.

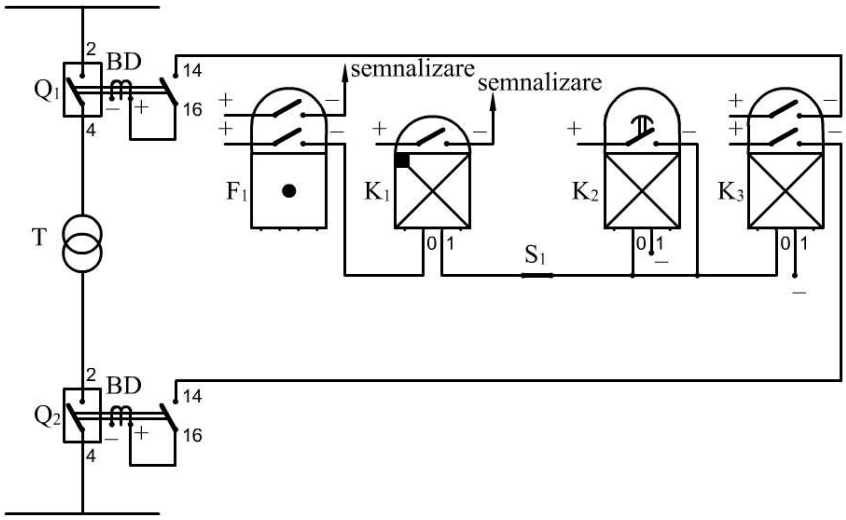


Figura 5.17. Schema electrică desfăşurată a protecţiei de gaze

T–transformator electric, Q_1, Q_2– întrerupătoare,
BD– bobina declanşatoarului, F_1– releul Buchholz, K_1– releu de semnalizare,
K_2– releu intermediar cu temporizare, K_3– releu intermediar.

După o operaţie de umplere cu ulei a transformatorului şi până la eliminarea gazelor din ulei, schema va funcţiona doar în regim de semnalizare după deschiderea dispozitivului S_1.

Protecţia de gaze a transformatoarelor cu ulei elimină pericolul exploziei cuvei datorită presiunii gazelor degajate prin descompunerea uleiului sub acţiunea arcului electric.

5.3.2. Protecţia diferenţial longitudinală a unui transformator

Această protecţie este utilizată pe scară largă ca o completare a protecţiei de gaze, contra scurtcircuitelor interne sau la bornele transformatorului. Principiul de funcţionare este cel al compensării curenţilor şi este prezentat în schema electrică monofilară din figura 5.18.

Releul maximal F_1 compară valorile şi sensurile curenţilor aceloraşi faze din cele două înfăşurări ale transformatorului de protejat T, prin intermediul transformatoarelor de curent TC_1 şi TC2. Cele două transformatoare de curent sunt astfel alese încât tensiunile induse în înfăşurările lor secundare să fie egale.

Aplicând principiul suprapunerii efectelor, în funcţionarea normală releul F_1

este parcurs de diferența curenților dați de cele două transformatoare de curent: $i_d = i_1 - i_2$. (5.1.)

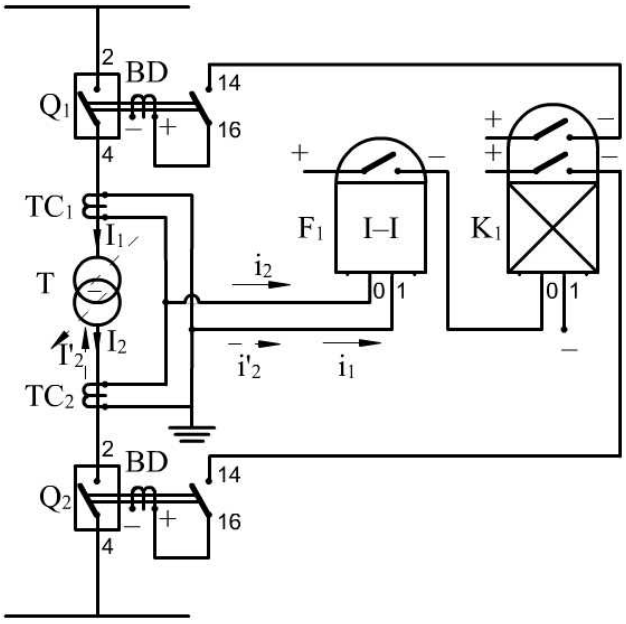


Figura 5.18. Schema electrică desfăşurată a protecției diferențiale longitudinale a unui transformator

T–transformator, TC_1, TC_2– transformatoare de curent,
Q1,Q_2– întrerupătoare, BD– bobina declanşatorului,
F_1– releu diferențial de curent, K_1– releu intermediar.

În cazul unui scurtcircuit exterior transformatorului, curenții de scurtcircuit sunt mari atât in primarul cât şi în secundarul transformatorului T dar releul diferențial F_1 măsoară un curent zero sau practic foarte mic.

Rezultă că schema de protecție nu funcționează la defecte externe.

În cazul unui scurtcircuit din interiorul transformatorului T, se schimbă sensul de circulație al curentului di secundarul transformatorului i_2 (linia punctată din figură) şi ca urmare releul F_1 va fi parcurs de un curent mai mare decât curentul de pornire al releului F_1 şi se produce acționarea acestuia. Releul maximal excită releul intermediar K_1 care alimentează bobinele de declanşare BD ale celor două întrerupătoare Q_1 şi Q_2 provocând declanşarea lor practic instantaneu.

5.3.3. Protecția maximală de curent cu blocaj de tensiune minimă a unui transformator

Această protecție se utilizează pentru protecția transformatoarelor față de curenții de scurtcircuit ce apar pe liniile ce pleacă de la secundarul transformatorului. Deoarece aceste linii sunt prevăzute şi cu alte protecții, din motive de selectivitate releul de timp trebuie reglat cu o treaptă peste cea mai mare treaptă de temporizare din rețea.

Prin reglarea astfel a temporizării protecției, schema nu funcționează decât în cazul unui refuz de funcționare al protecțiilor rețelelor sau dacă scurtcircuitul are loc la barele transformatorului.

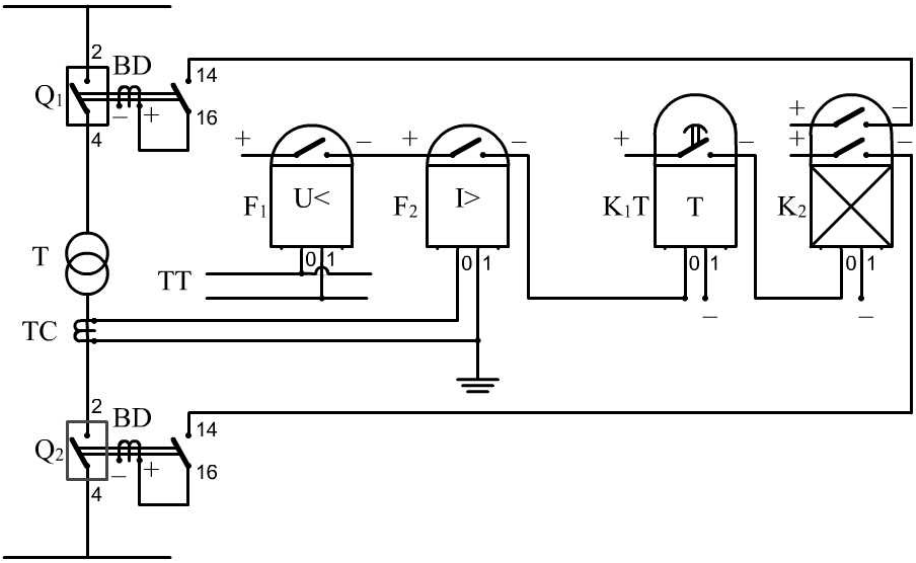


Figura 5.19. Schema electrică desfăşurată a protecției maximale de curent cu blocaj de tensiune minimă

T–transformator, TC– transformator de curent, TT– transformator de tensiune, Q_1,Q_2– întrerupătoare, BD– bobina declanşatorului, F_1– releu minimal de tensiune, F_2– releu maximal de curent, K_1T– releu de temporizare, K_2– releu intermediar.

Schema electrică desfăşurată monofilară a acestei protecții este prezentată în figura 5.19. şi conține un releu maximal de curent F_2, un releu de timp K_1T, un releu intermediar K_2 şi releul minimal de tensiune F_1. Releul minimal de tensiune are rolul de a împiedica pornirea protecției în cazul suprasarcinilor sau scurtcircuitelor îndepărtate, care nu provoacă în paralel cu

creşterea curenţilor şi o însemnată scădere a tensiunii pe bare, astfel că în aceste situaţii releul F_1 rămâne acţionat şi contactul său este deschis. În acest fel curentul de pornire al protecţiei se poate regla la valori apropiate de curentul nominal, ceea ce face ca sensibilitatea schemei de protecţie să crească.

5.4. PROTECŢIA REŢELELOR ELECTRICE

Una dintre principalele condiţii care se impun instalaţiilor electrice este aceea a siguranţei în funcţionare, adică a alimentării continue cu energie electrică a consumatorilor.

Asigurarea funcţionării fără întrerupere a instalaţiilor electrice are o importanţă deosebită, atât datorită faptului că urmările perturbărilor în funcţionare pot fi foarte grave, cât şi datorită faptului că instalaţiile electrice sunt mai expuse deranjamentelor decât alte genuri de instalaţii. Gravitatea urmărilor provine, în primul rând, din faptul că:

–instalaţiile electrice făcând parte, în general, dintr-un sistem energetic complex şi fiind legate între ele electric;

–un defect apărut într-un loc deranjează funcţionarea normală a întregului sistem; în al doilea rând, gravitatea defectelor din instalaţiile electrice se datorează energiilor foarte mari care intervin în desfăşurarea acestora, conducând la efecte distructive extrem de mari.

Rolul principal al automatizărilor şi al protecţiei prin relee folosite în electroenergetică constă în limitarea efectelor avariilor apărute şi în asigurarea alimentării fără întrerupere cu energie electrică a consumatorilor. Protecţia prin relee, care constituie ea însăşi automatizarea folosită de multă vreme pe scara cea mai largă în instalaţiile electrice, are în general două funcţiuni principale:

Separarea elementului avariat de restul instalaţiilor electrice şi asigurarea, în felul acesta, a funcţionării în continuare a acestora, în condiţii normale;

Sesizarea regimurilor anormale (nepermise) de funcţionare a instalaţiilor electrice şi semnalizarea lor, pentru a se preveni apariţia unor avarii.

Pentru îndeplinirea acestor două funcţiuni fundamentale, dispozitivele de protecţie, indiferent de tipul sau principiul constructiv pe care se bazează, trebuie să satisfacă următoarele condiţii generale:

– **Selectivitatea**, adică deconectarea doar a elementului avariat şi permiterea funcţionării în continuare a instalaţiilor neavariate;

– **Sensibilitatea**, adică sesizarea tuturor defectelor şi a regimurilor anormale de funcţionare, chiar atunci când ele se deosebesc doar cu puţin de

regimul de funcţionare normal al instalaţiilor;

– **Rapiditatea**, care este necesară pentru că numai o deconectare rapidă a elementelor avariate poate rămâne fără urmări asupra funcţionării instala-ţiilor neavariate;

– **Siguranţa**, care constă în aceea că dispozitivele de protecţie prin relee, care acţionează foarte rar (de câteva ori pe an), trebuie să fie pregătite, chiar după o perioadă lungă de repaus, pentru a funcţiona corect.

Sistemul energetic se compune dintr-un număr foarte mare de elemente care contribuie la realizarea a trei procese distincte şi anume: producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice. Corespunzător acestor procese, elementele componente se grupează în următoarele părţi distincte ale sistemului şi anume: centralele, reţelele electrice, centralele de termoficare şi consumatorii de energie electrică şi termică.

Centrala reprezintă ansamblul de instalaţii care servesc la producerea energiei electrice şi termice pe baza transformării energiei resurselor energetice primare.

Reţelele electrice reprezintă ansamblul de instalaţii prin intermediul cărora energia electrică este transportată de la centralele producătoare până la consumatori, cuprinzând, în principal, linii electrice de energie, staţii electrice şi posturi de transformare.

Linia electrică de energie reprezintă ansamblul de conducte electrice, dispozitive şi construcţii necesare, care asigură transportul la distanţă sau distribuţia energiei electrice pentru alimentarea consumatorilor şi care urmăreşte un traseu, constituind astfel una sau mai multe căi de curent.

Staţia electrică reprezintă ansamblul de instalaţii şi de construcţii anexe în care se realizează cel puţin unul dintre următoarele procese:

– modificarea parametrilor puterii electromagnetice (tensiune, frecven-ţă, etc.) corespunzător condiţiilor de transport sau de utilizare a energiei electrice;

– conectarea electrică a două sau mai multe surse de energie electrică;

– conectarea electrică a două sau mai multe căi de curent pentru alimentarea receptoarelor de energie electrică.

Postul de transformare reprezintă instalaţia electrică de curent alternativ, în care tensiunea este coborâtă la o tensiune joasă, sub 1000 V, în scopul alimentării reţelelor de distribuţie şi a receptoarelor.

În figura 5.20. este reprezentată schema monofilară de principiu a unei reţele electrice ca parte dintr-un sistem energetic.

Energia produsă în centralele electrice este transmisă, prin intermediul unor transformatoare de putere, care ridică tensiunea la cea a liniilor de înaltă tensiune. Energia electrică este transportată pe liniile electrice de înaltă tensiune până la staţiile de transformare coborâtoare, de la care pleacă liniile

de medie tensiune ce alimentează transformatoarele posturilor de transformare.

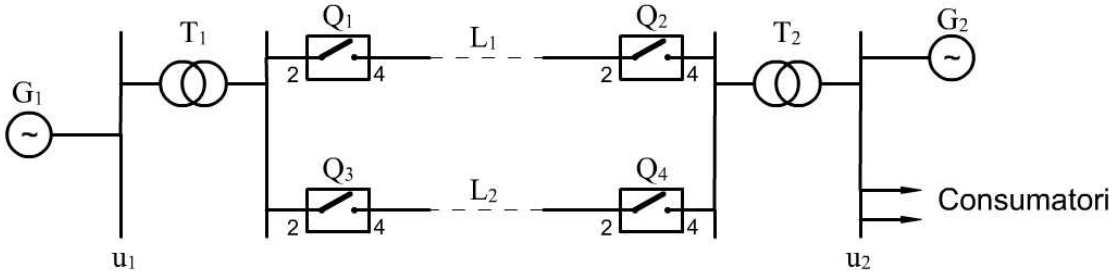


Figura 5.20. Reprezentarea schematică a unei rețele electrice

G_1, G_2– generatoare, T_1, T_2– transformatoare de rețea,
Q_1...Q_4– întrerupătoare, L_1, L_2– linii electrice.

Rețelele electrice pot fi clasificate după: valoarea tensiunii, structură şi modul de tratare a neutrului.

A. După valoarea tensiunii, se deosebesc:

– rețele de înaltă tensiune, cu tensiuni de 110, 220, 400 kV şi mai mult, folosite pentru transportul energiei electrice dinspre zonele de producere, înspre zonele de consum;

– rețele de medie tensiune, cu tensiunea între 6 şi 60 kV, utilizate în general pentru distribuția energiei electrice;

– rețele de joasă tensiune, sub 1 kV, cele mai frecvente fiind tensiunile de 380 şi 220 V, utilizate pentru distribuția energiei electrice la consumatori.

Puterile din ce în ce mai mari cerute de consumatori, impun utilizarea din ce în ce mai mult a instalațiilor de 110 kV, nu numai pentru transport, ci şi pentru distribuția energiei electrice.

B. După structură, rețelele se clasifică în:

– rețele radiale sau arborescente, prin care consumatorii sunt alimentați dintr-un singur sens;

– rețele buclate, prin care consumatorii sunt alimentați din cel puțin două sensuri.

C. După modul de tratare a neutrului, rețelele electrice se clasifică în:

– rețele cu neutru izolat, al căror neutru nu are nici o legătură specială cu pământul;

– rețele cu neutrul tratat, care pot fi cu neutrul compensat, (legat la pământ printr-o bobină de stingere sau printr-un transformator de legare la pământ), sau cu neutrul necompensat (legat la pământ fie direct, fie printr-o

rezistentă sau printr-o bobină cu inductanță redusă).

5.4.1. Protecția maximală de curent a liniilor electrice radiale

Protecția maximală de curent se utilizează în cazul rețelelor radiale cu alimentare de la un singur capăt (ca rețeaua di figura 5.21.).

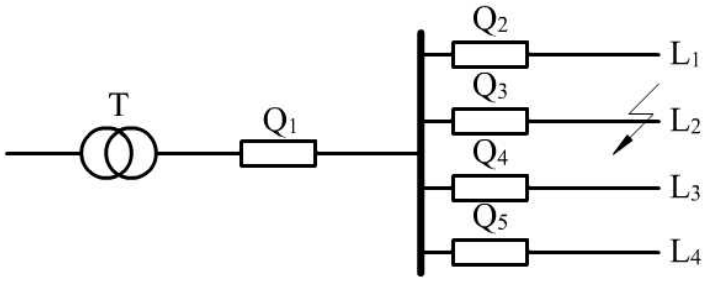


Figura 5.21. Rețea electrică radială simplă

T–transformator, Q_1...Q_5– întrerupătoare, L_1...L_4– linii electrice.

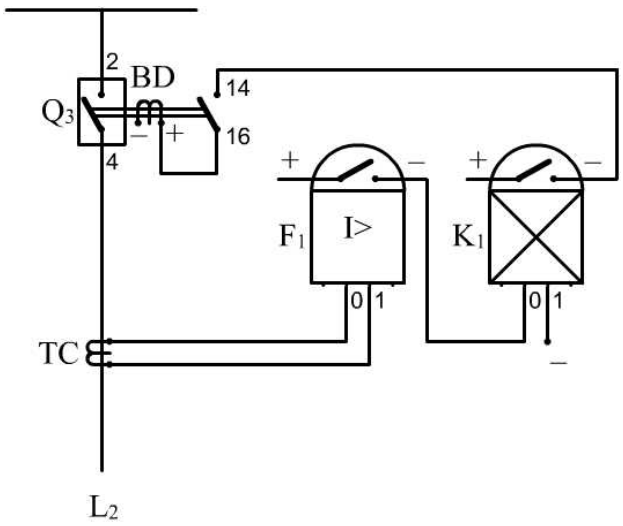


Figura 5.22. Schema electrică desfăşurată monofilară a protecției maximale de curent a unei rețele radiale simple

Q_3– întrerupător principal, BD– bobina declanşatorului,
TC– transformator de curent, F_1– releu maximal de curent,
K_1– releu intermediar, L_2– linia electrică defectă.

În cazul acestor rețele protecția cuprinde: un releu maximal de curent F_1 şi un releu intermediar K_1. Dacă scurtcircuitul apare pe linia L_2 el este sesizat

de releul maximal de curent F_1, care comandă releul intermediar K_1 şi care la rândul său comandă declanşarea întrerupătorului Q_3, aşa cum este prezentat în schema electrică monofilară din figura 5.22.

Semnalul pentru releul maximal de curent F_1 este preluat prin transformatorul de curent TC. Se obţine astfel o declanşare practic instantanee a întrerupătorului liniei defecte, celelalte linii rămânând alimentate.

5.4.2. Protecţia maximală de curent temporizată a liniilor electrice radiale

Acest tip de protecţie se utilizează în cazul reţelelor radiale având pe parcurs consumatori ce pleacă de la sistemele de bare A,B,C aşa cum este prezentat în figura 5.23.

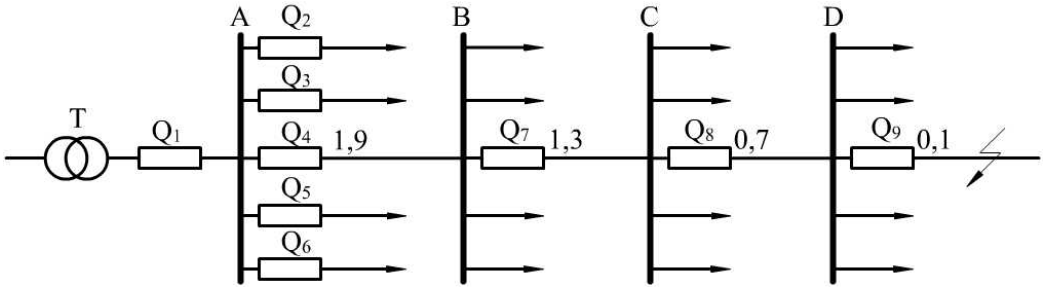


Figura 5.23. Reţea radială complexă

T–transformator, Q_1...Q_9– întrerupătoare,
A, B, C, D–noduri de ramificare a reţelei.

Datorită configuraţiei arborescente a reţelei protecţia maximală de curent trebuie prevăzută şi cu o temporizare a acţionării. Astfel în cazul unui scurtcircuit (ca cel prezentat în figură) trebuie să acţioneze doar întrerupătorul Q_9 pentru a se obţine o funcţionare selectivă a protecţiei. Se obţine astfel o protecţie maximală temporizată în trepte.

Temporizarea minimă se găseşte la capătul liniei şi ea creşte în trepte constante spre sursa de alimentare.

Treptele sunt de 0,5 ÷ 0,7 s pentru a exista siguranţa declanşării numai a întrerupătorului liniei defecte. Acest tip de protecţie este prezentat în figura 5.24. şi se realizează prin relee electromagnetice maximale de curent F_1, care excită releul de timp K_1T şi care comandă declanşarea întrerupătoarelor prin intermediul unor relee intermediare K_2.

În cazul unui scurtcircuit pe linie releul maximal F_1 acţionează şi excită releul de timp K_1T, care cu temporizarea reglată excită releul intermediar K_2

care comandă bobina BD de declanşare a întrerupătorului Q_9.

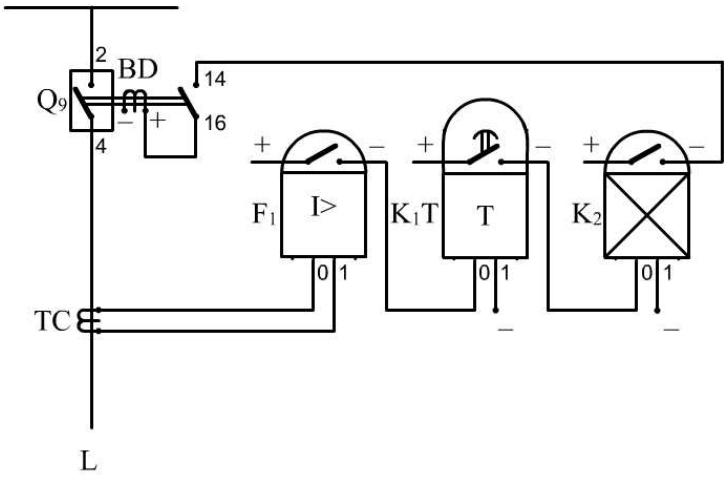


Figura 5.24. Schema electrică desfăşurată monofilară a protecţiei maximale temporizate în trepte a unei reţele radiale complexe

Q_9– întrerupător principal, BD– bobina declanşatorului,
TC– transformator de curent, F_1– releu maximal de curent,
K_1T– releu de temporizare, K_2– releu intermediar, L–linia electrică defectă.

Principalul dezavantaj al acestei protecţii constă în faptul că scurtcircuitele apropiate de sursă sunt înlăturate cu întârzieri mari ceea ce poate fi periculos pentru generatoarele sincrone.

5.4.3. Protecţia maximală de curent direcţională a liniilor electrice cu alimentare bilaterală

În cazul reţelelor cu alimentare bilaterală ca cea reprezentată în figura 5.25. alimentarea se face atât de capătul A cât şi de la capătul E, iar consumatorii pleacă de la sistemele de bare A, B, C, D şi E.

Prin reglarea releelor de timp în ipoteza unei temporizări în trepte cu valorile înscrise în figura 5.26. pentru alimentarea dinspre stânga respectiv dinspre dreapta, nu se poate asigura o temporizare selectivă. Dacă scurtcircuitul s-ar produce în punctul desenat în figură toate protecţiile fiind parcurse de curentul de scurtcircuit, defectul va fi izolat de protecţiile cu timpii cei mai scurţi de acţionare prin declanşarea întrerupătoarelor Q_2 şi Q_7 neasigurând selectivitatea protecţiei. De altfel oriunde ar apare un scurtcircuit vor declanşa în mod invariabil aceleaşi întrerupătoare Q_2 şi Q_7 neasigurându-se o funcţionare selectivă a protecţiei.

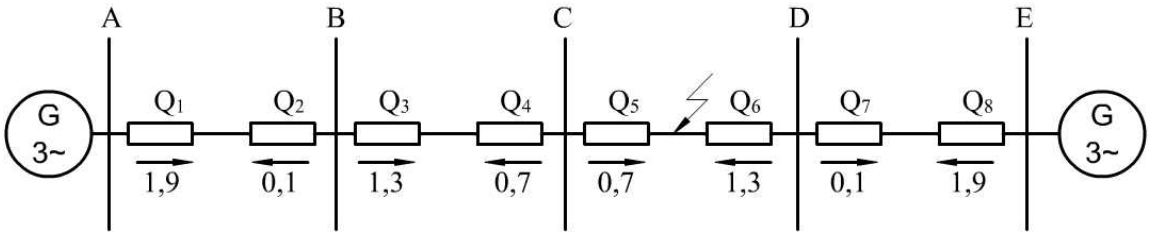


Figura 5.25. Reţea electrică complexă cu alimentare bilaterală

G–generator electric, Q_1...Q_8– întrerupătoare,
A, B, C, D–noduri de ramificare a reţelei.

Pentru a realiza selectivitatea este necesar să introducem un nou criteriu (în afara celui a curentului mărit) şi anume sensul în care circulă puterea (curentul) spre locul de defect. Este necesar ca fiecărei protecţii maximale să i se adauge un releu direcţional care sesizează sensul de circulaţie al puterii şi acţionează numai dacă transferul de putere are loc conform săgeţilor din figura 5.25., excitând releul de timp corespunzător.

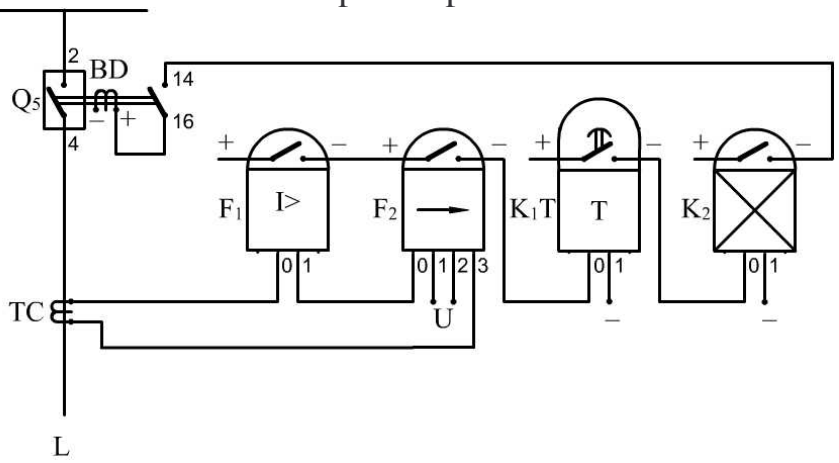


Figura 5.26. Schema electrică desfăşurată monofilară a protecţiei maximale de curent direcţionale a unei reţele cu alimentare bilaterală

Q_5– întrerupător principal, BD– bobina declanşatorului, TC– transformator de curent, F_1– releu maximal de curent, F_2– releu direcţional, K_1T– releu de temporizare, K_2– releu intermediar, L–linia electrică defectă.

Schema electrică principială monofilară, a protecţiei maximale direcţionale este prezentată în figura 5.26. După cum se observă, pentru ca releul de timp K_1T să fie excitat şi să comande după trecerea timpului reglat declanşarea întrerupătorului Q_5, este necesar ca atât curentul să depăşească valoare reglată şi deci releul maximal F_1 să-şi închidă contactul, cât şi ca sensul de circulaţie a puterii de scurtcircuit să fie de la bare spre linie şi deci releul

direcţiona F_2 să-şi închidă contactele.

Ca relee direcţionale se folosesc releele de inducţie cu rotor cilindric, având înfăşurarea de curent înseriată cu cea a releului maximal şi înfăşurarea de tensiune legată printr-un transformator de tensiune la bare. În cazul în care scurt-circuitul se produce pe porţiunea CD conform figurii 5.25, releele direcţionale ale întrerupătorului Q_7 şi Q_4 nu acţionează şi ca urmare vor declanşa întrerupă-toarele Q_5 şi Q_6 după 0,7 s şi după 1,3 s, asigurând declanşarea selectivă a porţiunii defecte din reţea.

5.4.4. Protecţia de distanţă a reţelelor electrice complexe

Protecţiile de distanţă reprezintă la ora actuală cea mai răspândită protec-ţie pentru liniile electrice şi alte echipamente energetice.

Principiul de bază al protecţiilor de distanţă este fundamentat pe compa-rarea intensităţii curentului şi a tensiunii de la locul de montaj al protecţiei de distanţă „văzute“ de releu.

Din compararea celor două mărimi se poate stabili dacă impedanţa până la locul de defect este mai mare sau mai mică decât valoarea impedanţei reglate. Un exemplu tipic pentru o astfel de balanţă electrică se prezintă în figura 5.27.. Tensiunea şi curentul care alimentează balanţa, preluate din secundarele transformatoarelor de tensiune (TT) şi respectiv de curent (TC), alimentează două relee electromagnetice fixate fiecare la capătul pârghiei 3, care se roteşte în jurul unui ax. Asupra pârghiei acţionează diferenţa cuplurilor dezvoltate de cei doi electromagneţi.

Această protecţie se bazează pe măsurarea distanţei dintre locul de montare al protecţiei şi locul defect, comandând deconectarea întrerupătorului cu un timp cu atât mai mic cu cât defectul se află mai aproape de locul de montare al protecţiei. Această distanţă se măsoară prin determinarea impedanţei dintre locul de montare al protecţiei şi locul defect cu ajutorul releelor de impedanţă.

Relee de impedanţă pot fi în execuţie electromecanică (tip balanţă electromagnetică), de inducţie, de tip balanţă electrică, în execuţie statică sau şi mai nou în execuţie digitală.

Pentru a evidenţia principiul de măsurare al impedanţei, vom considera cazul cel mai simplu al unui releu de impedanţă de tip balanţă electromag-netică.

Cum impedanţa liniei este proporţională cu lungimea ei, raportul dintre momentele releelor de curent şi respectiv de tensiune este o măsură a distanţei de la locul de instalare al releului până la locul defect.

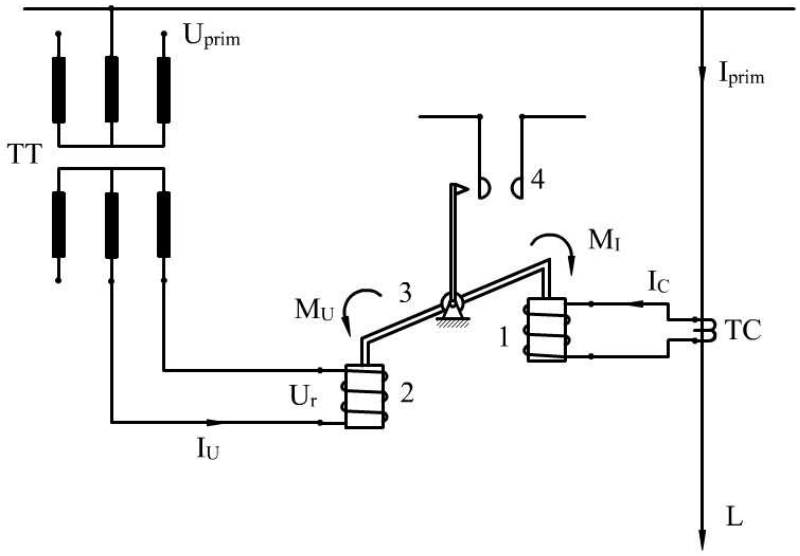


Figura 5.27. Schema unui releu de impedanță de tip balanță electromagnetică

TT– transformator de tensiune, TC– transformator de curent, L–linia electrică protejată, 1– releu electromagnetic de curent,
2– releu electromagnetic de tensiune, 3– pârghie, 4– contacte.

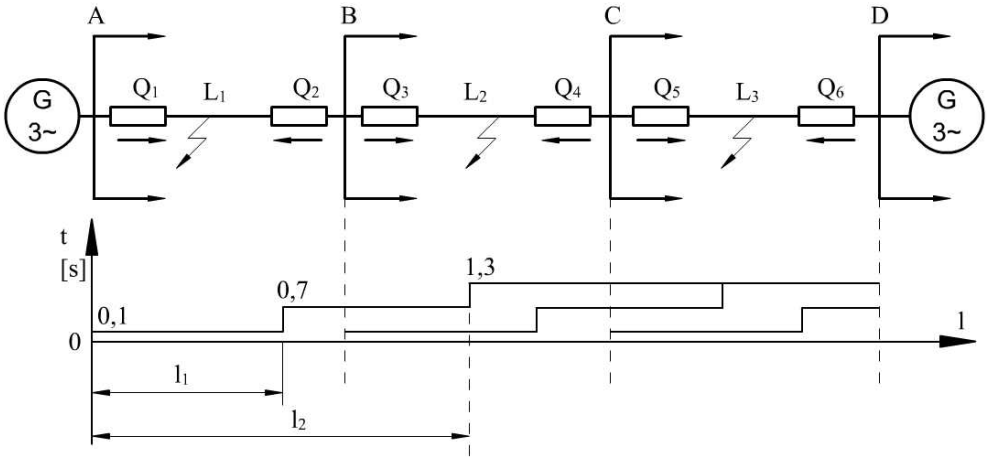


Figura 5.28. Rețea electrică complexă cu alimentare bilaterală protejată cu o protecție de distanță. Diagrama temporală de protecție.

G–generator electric, Q_1...Q_6– întrerupătoare,
A, B, C, D–noduri de ramificare a rețelei, L_1, L_2, L_3– linii electrice

În figura 5.28. este prezentată o rețea cu alimentare bilaterală, prevăzută cu o protecție de distanță şi caracteristica de temporizare, adică dependența între timpul de acționare al protecției în funcție de distanța până la locul defect. Temporizările protecției rămân constante în limitata anumitor distanțe numite zone. În figura 5.28. sunt prezentate zona I, II şi III.

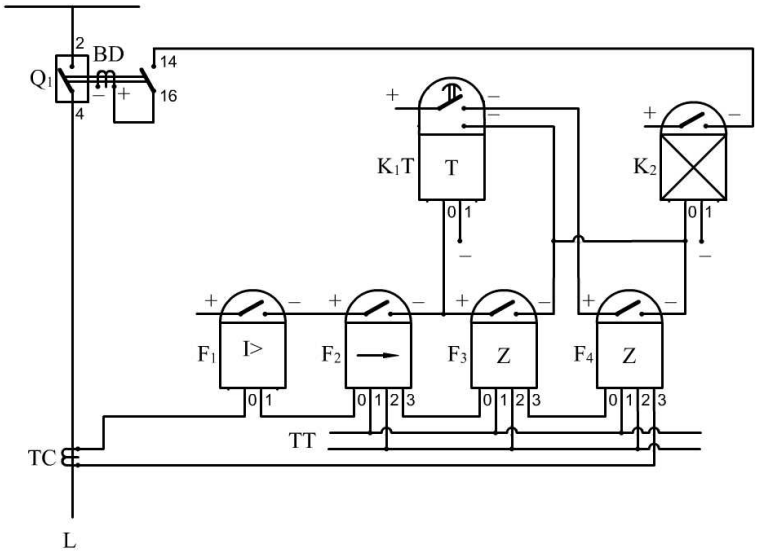


Figura 5.29. Schema electrică desfăşurată monofilară a protecţiei de distanţă a unei reţele complexe cu alimentare bilaterală

Q_1– întrerupător principal, BD– bobina declanşatorului, TC– transformator de curent, TT– transformator de tensiune, F_1– releu maximal de curent, F_2– releu direcţional, F_3, F_4– relee de impedanţă, K_1T– releu de temporizare, K_2– releu intermediar, L–linia electrică protejată.

În figura 5,29, este prezentată schema electrică monofilară a protecţiei de distanţă cu trei trepte de timp.

Privind din punctul de vedere al întrerupătorului Q_1 la un scurtcircuit în zona I, acţionează releele F_1, F_2, F_3, F_4 şi semnalul se transmite practic instantaneu la releul K_2 care comandă declanşarea întrerupătorului Q_1 în "treapta I " (0,1 s). Releul de timp K_1T deşi a fost excitat nu ajunge să-şi închidă contactele. La un scurtcircuit în zona II acţionează releele F_1, F_2, F_4 şi K_1T 5 şi după trecerea timpului reglat (0,7 s) prin închiderea contactului superior al releului K_1T se excită releul intermediar K_2 care acţionează întrerupătorul Q_1 în treapta a II-a de timp.

La un scurtcircuit în zona III acţionează releele F1, F2 şi K_1T şi când releul de timp îşi închide contactul inferior (1,3 s) prin releul intermediar K_2 se comandă declanşarea întrerupătorului Q_1.La fel se pot judeca lucrurile din punctul de vedere al oricărui întrerupător şi se obţin diagramele temporale din figura 5.28. În mod analog se analizează funcţionarea schemei electrice a protecţiei în cazul alimentării dinspre dreapta.

Treptele de timp II şi III sunt doar trepte de rezervă care asigură declanşarea temporizată în cazul unui refuz de funcţionare al unei protecţii din treapta I. De aici rezultă marele avantaj al protecţiei de distanţă, acela de a declanşa selectiv şi practic instantaneu porţiunea de linie afectată de defect.

5.5. AUTOMATIZAREA SISTEMELOR ENERGETICE

Automatizările cu care este dotat sistemul energetic au rolul de a împiedica sau limita avariile din sistem. Deşi au aceeaşi destinaţie ca şi schemele de protecţie, dacă acestea reacţionează numai la avarii cu caracter local, automatizările permit atât sesizarea cât şi acţionarea la incidente cu caracter mai general.

Din această categorie de scheme de automatizări cele mai importante sunt: Reanclanşarea automată rapidă (R.A.R.); Anclanşarea automată a rezervei (A.A.R.); Descărcarea automată a sarcinii la scăderea frecvenţei (D.A.S.F.); Descărcarea automată a sarcinii la scăderea tensiunii (D.A.S.U.).

5.5.1. Reanclanşarea Automată Rapidă (RAR)

Un dispozitiv R.A.R. constă dintr-o instalaţie complexă care realizează reanclanşarea automată a unui întrerupător declanşat de protecţia prin relee, după un timp de la această declanşare, timp ce nu trebuie să depăşească cu mult intervalul necesar pentru stingerea arcului la locul defect.

Există o multitudine de scheme R.A.R. cu unul, două sau trei cicluri de reanclanşare. Elementele principale ale unui dispozitiv R.A.R. în construcţie electromecanică sunt: un releu de timp (cu mecanism de ceasornic), un releu intermediar cu doua bobine (una de acţionare, şi una de reţinere), releul de comandă a reanclanşări, etc.

Dacă defectul ce a determinat declanşarea întrerupătorului a fost trecător (de exemplu o lovitură de trăsnet în apropierea liniei de înaltă tensiune), întrerupătorul rămâne acţionat şi prin acest ciclu R.A.R. se elimină declanşarea de durată a unor linii electrice.

Dacă defectul persistă, protecţia comandă a doua declanşare a întrerupătorului, de această dată definitiv (realizându-se un singur ciclu R.A.R.) pentru sistemele dublu R.A.R., după o primă declanşare automată comandată de protecţii, sistemul permite o nouă reanclanşare automată.

5.5.2. Anclanşarea automată a Rezervei (AAR)

Schemele de alimentare ale consumatorilor importanţi trebuie astfel concepute încât, în timpul unei avarii pe linia de alimentare sau la sursa de alimentare normală, să existe posibilitatea unei alimentări de rezervă.

Schema de principiu a unei instalaţii A.A.R. ce alimentează barele staţiei C prin linia principală L_1, din staţia A şi linia de rezervă L_2 din staţia B, este prezentată în figura 5.30.

În funcționarea normală alimentarea stației C se face prin linia L_1 întrerupătorul Q_1 fiind închis şi deci releul intermediar cu temporizare K_1T este acționat, datorită contactelor 14-16, 18-20 ale întrerupătorului Q_2 având deci cele două contacte închise. Dacă tensiunea de la stația C este bună, atunci releele minimale de tensiune F_1 şi F_2, alimentate de la barele stației C printr-un transformator de tensiune (nereprezentat în schemă) sunt acționate şi au contactele deschise. Dacă pe linia de rezervă L_2 avem tensiune, releul maximal de tensiune F_3 (alimentat prin TT) este acționat şi contactul său este închis.

Dacă printr-un motiv oarecare se declanşează întrerupătorul Q_2, atunci contactele sale auxiliare 14-16 şi 18-20 se deschid şi, contactul 11-13 se închide. Astfel releul K_1T rămâne fără alimentare, dar prin contactul 11-13 al întrerupătorului Q_2 contactul inferior cu temporizare la deschidere al releului K_1 şi contactul închis 11-13 al întrerupătorului Q_4 se alimentează bobina de anclanşare BA a întrerupătorului Q_4 ceea ce conduce la alimentarea stației prin linia de rezervă L.

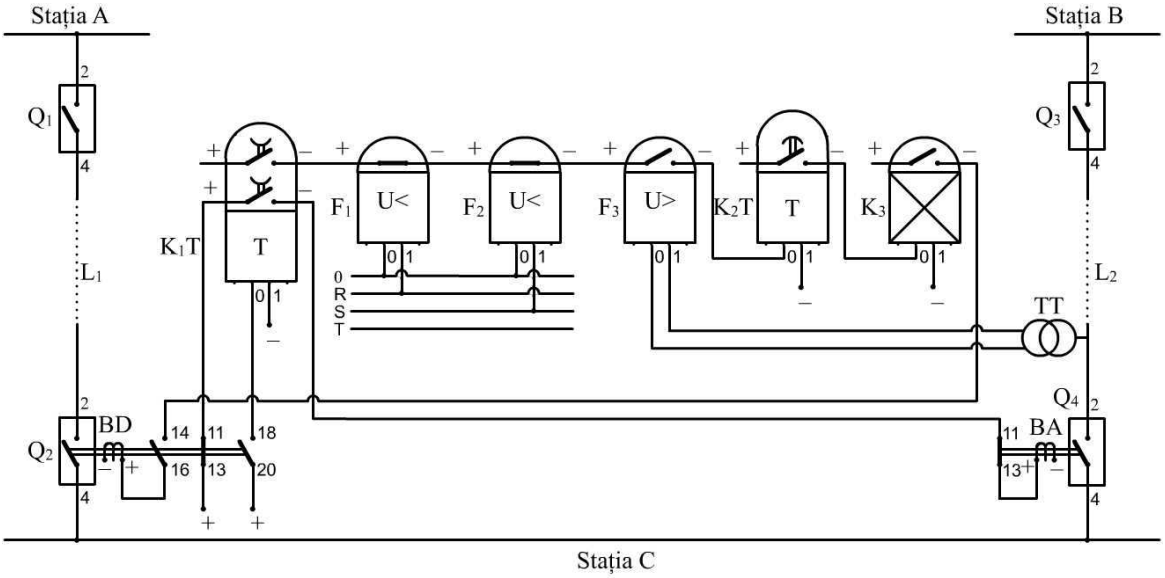


Figura 5.30. Schema electrică monofilară de principiu a Anclanşării automate e rezervei (A.A.R.)

Q_1...Q_4– întrerupătoare, BD– bobina declanşatorului, TT– transformator de tensiune, F_1, F_2, F_3– relee minimale de tensiune, K_1T– releu de timp cu temporizare la revenire, K_2T– releu de timp cu temporizare la acționare, K_3– releu intermediar.

Anclanşarea automată a rezervei are loc şi în cazurile în care alimentarea de bază dispare, ca urmare a declanşării întrerupător Q_1 a liniei L_1

sau dacă tensiunea la barele staţiei C scade sub o valoarea admisibilă.

La dispariţia sau scăderea tensiunii la barele staţiei C, releele minimale de tensiune F_1 şi F_2 îşi închid contactele şi provoacă prin contactul superior închis al releului K_1T şi contactul închis al releului F_3 alimentarea releului de timp K_2T, care după timpul reglat comandă prin releul intermediar K_3 alimentarea bobinei de declanşare BD a întrerupătorului Q_2.

Declanşarea întrerupătorului Q_2 determină în modul descris anterior anclanşarea automată a întrerupătorului Q_4 şi deci alimentarea staţiei C de la linia de rezervă.

5.5.3. Descărcarea Automată a Sarcinii la scăderea Frecvenţei (DASF)

În funcţionarea normală a sistemului energetic puterea produsă în sistem este egală cu puterea consumată iar frecvenţa tensiunii este constantă. Orice dezechilibru ce apare între puterea produsă şi cea consumată determină modificarea turaţiei generatoarelor sincrone şi deci a frecvenţei de funcţionare a sistemului. Producerea bruscă a unui deficit de putere sunt sesizate de scăderea frecvenţei şi pot fi înlăturate prin deconectarea unor consumatori.

După o injectare suplimentară de putere în sistem, o dată cu revenirea frecvenţei sistemul de automatizare trebuie să permită reanclanşarea automată a consumatorilor anterior declanşaţi. Elementul caracteristic al schemei electrice de automatizare este releul de frecvenţă reglat la o frecvenţă de revenire mai mică decât cea nominală. La creşterea consumului de putere din sistem, frecvenţa scade şi când aceasta devine mai mică decât frecvenţa de reglaj a releului de frecvenţă acesta comandă declanşarea unor consumatori în ordinea inversă a importanţei lor.

Ca urmare a deconectării acestor consumatori frecvenţa în sistem îşi revine dar cât timp este mai mică decât o nouă valoare de reglaj consumatorii rămân deconectaţi. Injectarea suplimentară de putere în reţea, comandată de dispecer, comandă reanclanşarea consumatorilor anterior declanşaţi. Astfel sistemul D.A.S.F. asigură stabilitatea sistemului energetic.

5.5.4. Descărcarea Automată a Sarcinii la scăderea Tensiunii (DASU)

Spre deosebire de scăderea frecvenţei care constituie un criteriu sigur al deficitului de putere activă din sistem, scăderea tensiunii din reţea poate fi provocată şi de defecte cu caracter local (scurtcircuite) care se elimină prin acţionarea temporizată a protecţiilor şi nu necesită sacrificii de consumatori. Posibilitatea interpretării greşite a scăderii tensiunii şi efectuarea din acest motiv a unor sacrificii de consumatori care nu sunt necesare, constituie principala dificultate în realizarea descărcării automate a sarcinii la scăderea

tensiunii.

Schema D.A.S.U. cuprinde trei relee minimale de tensiune şi un releu special capabil să sesizeze existența componentelor de tensiune inversă în rețea.

În funcționarea normală, tensiunea aplicată releelor minimale de tensiune este mai mare decât o valoare reglată.

La scăderea tensiunii din rețea sub valoarea de reglaj, ca urmare a creşterii consumului de putere activă în rețea, releele minimale de tensiune comanda declanşarea consumatorilor în ordinea inversă a importanței lor. Comanda de reanclanşare a consumatorilor se dă numai după o injecție suplimentară de putere în rețea.

În cazul unui scurtcircuit pe una din liniile din sistem, defect ce va fi eliminat selectiv de protecția aferentă, in rețea apare o scădere a tensiunii ce poate conduce la o declanşare nedorită a unor consumatori. De aceea schema de automatizare este prevăzută cu un releu capabil să sesizeze existența componentelor de tensiune inversă din rețea, ce însoțesc scurtcircuitele. Dacă după o temporizare, tensiunea din sistem şi-a revenit la valoarea normală (peste valoarea de reglaj a releelor minimale de tensiune) acestea opresc deconectarea consumatorilor. Dacă tensiunea din releu nu şi-a revenit la o valoare mai mare decât cea de reglaj a releelor minimale de tensiune, fapt care denotă un deficit de putere în rețea, acestea comandă declanşarea unor consumatori până la revenirea tensiunii în rețea la valoarea nominală.

5.6. PROTECȚII NUMERICE A REȚELELOR ELECTRICE

Noțiunea de protecție numerică (digitală) se aplică acelor protecții la care prelucrarea informației analogice se face numeric. Principial, un lanț tipic de prelucrare numerică este prezentat în figura 5.31. şi se compune din: filtrul analogic trece jos (FTJ), circuitele de eşantionare şi memorare (S&H), convertorul analog-numeric (CAN) şi procesorul de date numerice (DSP).

Tensiunile şi curenții din secundarele transformatoarelor TT şi TC sunt adaptate prin intermediul unor circuite analogice de intrare la valorile acceptate de circuitele electronice şi se aplică filtrului analogic FTJ, cu rol de filtru antialiasing. Mărimea filtrată se aplică CAN prin intermediul circuitelor de eşantionare şi memorare.

Convertorul realizează conversia semnalului analogic într-un cod numeric. Din acest moment prelucrarea datelor, în conformitate cu algoritmii de protecție şi automatizare specifici, se execută asupra unor semnale numerice (coduri numerice) similar operațiilor din calculatoarele electronice.

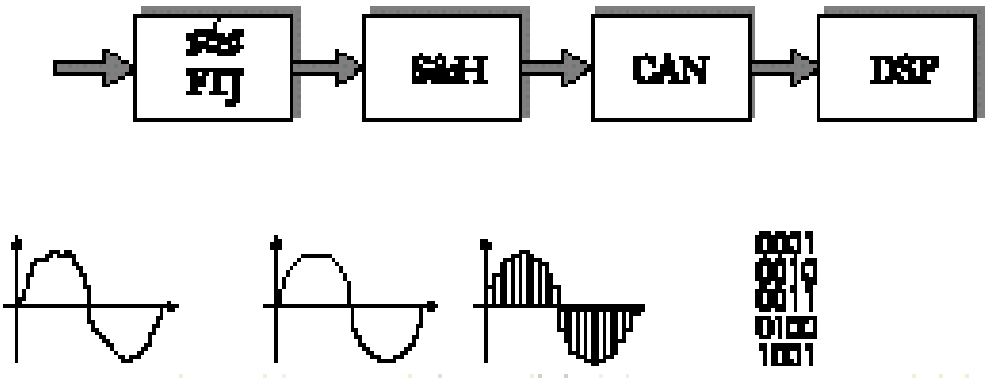


Figura 5.31. Schema bloc a unui sistem digital de procesare a semnalului.

FTJ– filtrul analogic trece jos, S&H– circuite de eşantionare şi memorare, CAN– convertor analog-numeric, DSP– procesorul numeric de date.

5.6.1. Funcţiile protecţiilor numerice a reţelelor

Realizarea echipamentelor de protecţie în tehnologie digitală permite integrarea în cadrul unui echipament a mai multor funcţii de protecţie, automatizare şi măsură. În acest fel „releul de protecţie“ devine, în fapt, un „terminal de protecţie“. Un astfel de terminal de protecţie include funcţii multiple de protecţie, automatizare, măsură şi de comunicaţie în cadrul unui sistem integrat de supraveghere-control al staţiei de transformare. Producătorii echipamentelor de protecţie pentru linii electrice, includ diverse funcţii în cadrul terminalului, pe lângă funcţia de bază de protecţie de distanţă. În continuare se vor prezenta câteva exemple de funcţii implementate în cadrul unui terminal numeric de protecţie.

Practic, aceste funcţii se regăsesc la toate terminalele de protecţie de linie produse şi de alţi fabricanţi de echipamente numerice de protecţie.

5.6.1.1. Funcţia „protecţie de distanţă“

În mod normal treapta 1 a protecţiei de distanţă este reglată la cca. 85% din impedanţa liniei şi, ca urmare, defecte apropiate de capătul opus locului de montaj al protecţiei de distanţă vor fi încadrate în treapta a doua şi, deci, eliminate temporizat (de regula 0,4 - 0,5 s). Pentru a elimina rapid defectele pe întreaga lungime a liniei se utilizează funcţia de teleprotecţie. Terminalul permite alegerea mai multor scheme tip de teleprotecţie, între care şi aşa

numita schemă permisivă de teleprotecție. Funcția de teleprotecție este corelată cu funcționarea echipamentului de înaltă frecvență (I.F.).

Echipamentul de I.F. asigură transmiterea unui impuls (materializat prin închiderea unui contact de releu) de la şi spre capătul opus al liniei. Acest impuls se utilizează în schema permisivă de teleprotecție.

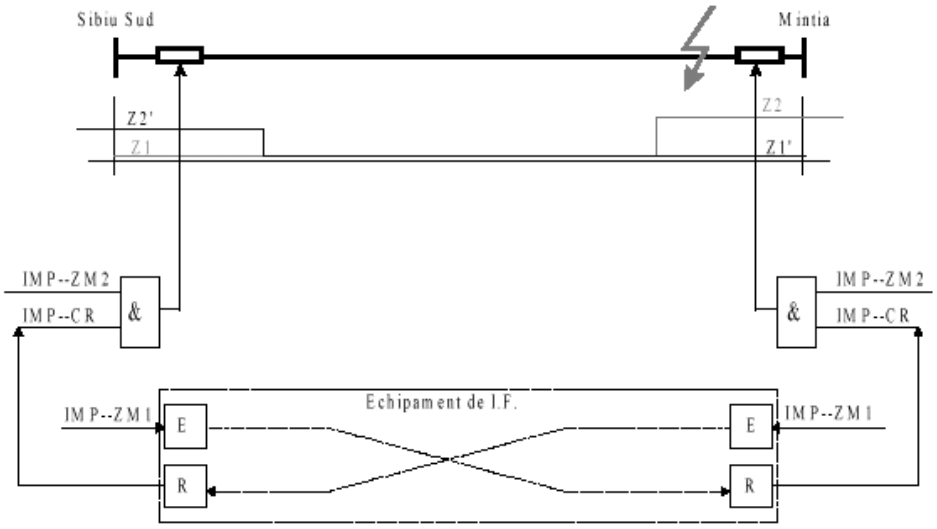


Figura 5.32. Principiul schemei permisive de teleprotecție

Funcționarea schemei se poate urmări în figura 5.32., unde se exemplifică prin LEA 400 kV Sibiu - Mintia. Fie un defect situat in apropierea stației Mintia. Protecția de distanță din Mintia va încadra defectul în treapta 1 (zona ZM1- reglaj Z1') şi va emite un impuls prin intermediul instalației de I.F. (IMP-ZM1). Protecția de distanță din stația Sibiu Sud va încadra defectul în treapta 2 (zona ZM2- reglaj Z2) şi, ca urmare, tinde să declanşeze temporizat în treapta a doua. Dar, la recepția semnalului din Mintia (care se aplică intrării logice IMP-CR) şi cu verificarea încadrării în zona ZM2, va comanda declanşarea rapidă a întrerupătorului. Astfel, defectul este eliminat rapid, indiferent unde este situat pe linie.

5.6.1.2. Funcția de supraveghere a circuitelor de măsură de tensiune

Lipsa tensiunii alternative de măsură poate conduce la acționarea incorectă a protecției de distanță. Pentru prevenirea acționării, terminalul de protecție REL-521 are inclusă această funcție, adesea denumită şi funcție de blocaj la dispariția tensiunii alternative. Activarea funcției conduce la blocarea funcțiilor de protecție care utilizează tensiuni alternative şi anume: funcția de protecție de distanță, funcția de protecție maximală de tensiune şi

funcţia de semnalizare pierdere tensiune. Funcţia acţionează în logica ‘SAU’ în două situaţii:

– declanşarea USOL de protecţie a circuitelor de măsură tensiune alternativă;

–. la sesizarea unei valori semnificative a tensiunii homopolare şi fără curent homopolar;

Activarea funcţiei conduce la blocarea instantanee a protecţiilor care utilizează măsura tensiunii.

5.6.1.3. Funcţia de accelerare a protecţiei la conectarea pe defect

Funcţia de accelerare a protecţiei la conectarea pe defect (in engleză, Switch-OnTo-Fault - SOTF) este destinată declanşării rapide a defectelor, de pe întreaga lungime a liniei, la punerea sub tensiune a liniei. Este o funcţie de protecţie nedirecţionată, zona protecţiei de distanţă care produce declanşarea putând fi selectată.

Funcţia se activează fie extern prin intermediul unui contact al releului de copiere a comenzii manuale de conectarea întrerupătorului, fie intern.

După activare, zona aleasă (de exemplu, zona 4-ZM4) poate emite instantaneu impuls de declanşare. Funcţia de accelerare este menţinută pentru un interval de timp t=1s după îndeplinirea condiţiei de activare.

Activarea internă a funcţiei se bazează pe controlul tensiunilor şi curenţilor de fază. Condiţia de activare internă este obţinută într-o schemă logică ‘SI’ din următoarele condiţii:

· cel puţin o tensiune de fază este scăzută;

· curentul corespunzător de fază este sub pragul de 10%;

· zona selectată (de exemplu ZM4) NU sesizează un defect;

Dacă toate condiţiile de mai sus sunt îndeplinite un interval de timp de cel puţin 200ms, atunci se activează condiţia internă.

5.6.1.4. Funcţia de protecţie maximală de curent instantanee

Funcţia de protecţie maximală de curent, nedirecţionată, instantanee asigură eliminarea rapidă (t < 15 ms) a scurtcircuitelor însoţite de valori mari ale intensităţii curenţilor.

Funcţia este realizată în logica ‘SAU’ pentru fiecare curent de fază. Astfel, la depăşirea valorii reglate a curentului pe una sau mai multe faze se comandă declanşarea instantanee a întrerupătorului. Funcţia poate fi utilizată în acele cazuri în care se poate stabili un reglaj corespunzător, astfel încât acţionarea să se producă numai la defect în zona protejată, având în vedere că protecţia maximală este nedirecţionată şi netemporizată

5.6.1.5. Funcția de protecție homopolară de curent direcționată

În cazul defectelor monofazate valoarea rezistenței de defect variază în limite largi în funcție de condițiile din rețea, de distanță până la locul de defect şi de valoarea rezistenței de trecere la locul de defect. Pot exista cazuri în care valoarea rezistenței de defect măsurată de protecția de distanță este mai mare decât rezistența care poate fi acoperită de caracteristica de acționare a protecției de distanță. Pentru eliminarea unor astfel de defecte cu rezistență mare de defect se utilizează protecția maximală de curent homopolar direcționată.

Defectele cu pământul pot fi sesizate prin măsurarea curentului homopolar. Direcționarea protecției se obține prin utilizarea tensiunii homopolare aplicate releului de la filtrul exterior de tensiune homopolară. Defectul este considerat în față, dacă este îndeplinită condiția:

$$3I_0 \cdot \cos\left(65^0 - \varphi\right) \geq 3I_0D \qquad (5.2.)$$

unde:

$3I_0$ = curentul de nul (I0 este curentul homopolar);

φ = unghiul de defazaj între 3I0 si -3U0 (U0 este tensiunea homopolară);

$3I_0D$ = valoarea de acționare reglată.

Acționarea la declanşare a protecției homopolare direcționate este, de regulă, temporizată, având în vedere reglajul redus al curentului de acționare (valori tipice de 0,1 - 0,3I_n).

5.6.1.6. Funcția de locator de defecte

Funcția de locator de defecte inclusă terminalului de protecție de linie REL-521 asigură măsurarea şi indicarea cu precizie ridicată e < ±3%) a distanței până la locul de defect.

Algoritmul utilizat elimină influența curentului de sarcină, a supra-alimentării de la capătul opus şi micşorează influența rezistenței de trecere la locul de defect. Distanța până la locul de defect poate fi indicată în procente din lungimea liniei sau în km.

Principial, algoritmul locatorului de defecte se bazează pe valorile tensiunilor şi intensității curenților măsurate la locul de montaj al terminalului. Pornind de la schema de principiu a unei linii electrice cu surse la ambele capete, prezentată în figura 5.33, se pot deduce următoarele ecuații, în baza schemei electrice echivalente din figura 5.34.:

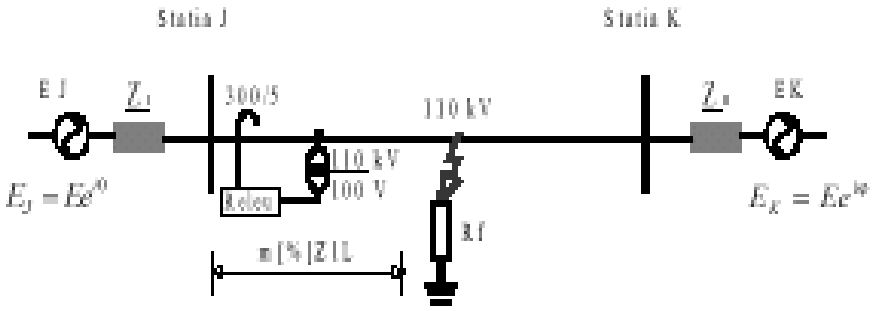


Figura 5.33. Schema de principiu a liniei electrice cu dublă alimentare

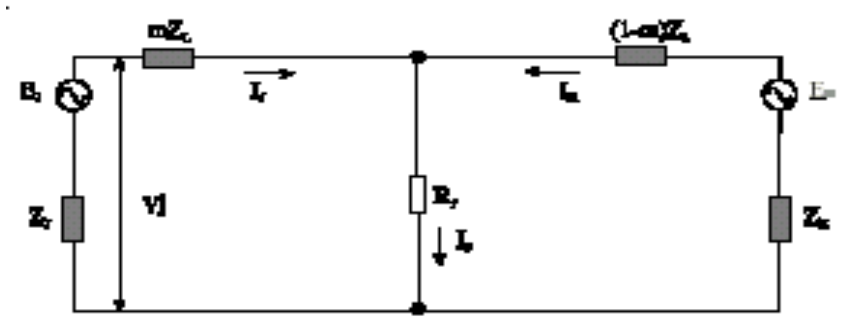


Figura 5.34. Schema electrică echivalentă a liniei electrice cu dublă alimentare

$$V_J = m \cdot Z_{1L} \cdot I_J + R_f \cdot (I_J + I_K)$$

$$Z_M = m \cdot Z_{1L} + R_f \cdot \left(1 + \frac{I_K}{I_J}\right) \qquad (5.3.)$$

unde:

$$Z_M = \frac{V_J}{I_j} \qquad (5.4.)$$

este impedanța măsurată.

Distribuția curenților pe cele două ramuri (spre sursa J, respectiv sursa K) se deduce utilizând ecuațiile:

$$I_K = I_f \cdot \frac{m \cdot Z_{1L} + Z_J}{Z_J + Z_{1L} + Z_K}$$
$$I_J = \frac{(1-m) \cdot Z_{1L} + Z_K}{Z_J + Z_{1L} + Z_K} \qquad (5.5.)$$

Iar raportul I_K/I_J devine:

$$\frac{I_K}{I_J} = \frac{m \cdot Z_{1L} + Z_J}{(1-m) \cdot Z_{1L} + Z_K} \qquad (5.6.)$$

Introducând rezultatul din relația 5.5. în relația 5.3. se obține:

$$Z_M = m \cdot Z_{1L} + R_f \frac{Z_J + Z_{1L} + Z_K}{(1-m) \cdot Z_{1l} + Z_K} \qquad (5.7.)$$

Ecuația 5.7. este, de fapt, o ecuație de gradul doi în m, care se poate rescrie în modul următor:

$$m^2 - Z_{1L} \cdot \left(1 + \frac{Z_M + Z_K}{Z_{1L}}\right) \cdot m + Z_M \cdot \left(1 + \frac{Z_K}{Z_{1L}}\right) - R_f \frac{Z_{1L} + Z_J + Z_K}{Z_{1L}^2} = 0 \qquad (5.8.)$$

Examinând relațiile de mai sus, se pot desprinde câteva observații:
a) în relația (5.7.) factorul de multiplicare al rezistenței R_f este un număr complex şi, ca urmare, rezistența "văzută" de releu este, de fapt, o impedanță, chiar dacă rezistența la locul de defect este pur ohmică;
b) această impedanță aparentă măsurată de releu reprezintă principalul factor de eroare în estimarea distanței până la locul de defect, în special pentru algoritmii care se bazează pe estimarea reactanței sau impedanței de defect;
c) ecuația (3.5) se poate descompune în două componente, cea conținând termeni reali şi cea conținând termenii imaginari.
Separând ecuația (3.6) în cele două componente se obține succesiv:

$$m^2 - m \cdot Ax + Bx - R_f \cdot Cx = 0$$
$$m \cdot Ay - By + R_f \cdot Cy = 0 \qquad (5.9.)$$

Unde:

$$\underline{A} = Ax + jAy = \frac{\underline{Z}_{1L} + \underline{Z}_M + \underline{Z}_K}{\underline{Z}_{1L}} \qquad (5.10)$$

$$\underline{B} = Bx + jBy = \frac{\underline{Z}_M}{\underline{Z}_{1L}}\left(\underline{Z}_{1L} + \underline{Z}_K\right)$$
$$\underline{C} = Cx + jCy = \frac{\underline{Z}_J + \underline{Z}_{1L} + \underline{Z}_K}{\underline{Z}_{1L} \cdot \underline{Z}_{1L}} \qquad (5.11.)$$

Eliminând acum R_f din sistemul de ecuații (5.9.), se obține:

$$m^2 - \alpha \cdot m + \beta = 0 \qquad (5.12.)$$

cu două soluții din care numai una corectă:

$$m_1 = \frac{\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 4 \cdot \beta}}{2}$$
$$m_2 = \frac{\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 4\beta}}{2} \qquad (5.13.)$$

unde s-au notat:

$$\alpha = Ax - Ay\frac{Cx}{Cy}$$
$$\beta = \frac{Bx}{Cy} - By\frac{Cx}{Cy} \qquad (5.14.)$$

În acest fel se poate determina distanța până la locul de defect cu o precizie globală de 3 %.

5.6.1.7. Funcția de înregistrator secvențial de evenimente

Funcția este utilizată pentru o analiză obiectivă a evenimentelor.

În cadrul funcției de raportare evenimente sunt cuprinse:

– funcția de informare generală asupra evenimentelor;

– indicațiile oferite de afişajul local;

– înregistratorul de evenimente;

–indicația locatorului de defecte;

– valorile măsurate ale tensiunilor şi curenților înainte de defect şi pe durata defectului;

– funcția osciloperturbograf local.

Raportul de evenimente permite memorarea a până la 10 evenimente în memorii nevolatile. În acest fel, informația memorată nu se pierde chiar la dispariția tensiunii continue de alimentare. Raportul de evenimente are alocată o zonă de memorie limitată la maxim 10s de înregistrare pentru 10 mărimi analogice şi 48 semnale binare (de tip contact)

5.6.1.8. Funcția RAR

Funcția RAR este inclusă terminalului şi poate asigura regimurile: RAR-M, RAR-M+T sau RAR-T cu până la patru cicluri. Pentru liniile de înaltă tensiune se utilizează RAR cu un singur ciclu şi, de regulă, numai regimul RAR-M. Modul în care terminalul de protecție REL-521 rezolvă logica RAR se poate urmări în figura 5.35.

Astfel, în cazul unui defect monofazat persistent, după momentul t_0 al apariției defectului, protecția comandă declanşarea la momentul t_1.

Acest mo-ment marchează şi începerea pauzei de RAR monofazat reglate. Intervalul t_1-t_2 reprezintă timpul de deschidere al întrerupătorului I, iar momentul t_3 marchează stingerea arcului în camera de stingere a întrerupătorului şi deschiderea contactelor. Din acest moment începe pauza de RAR necesară deionizării mediului la locul de defect.

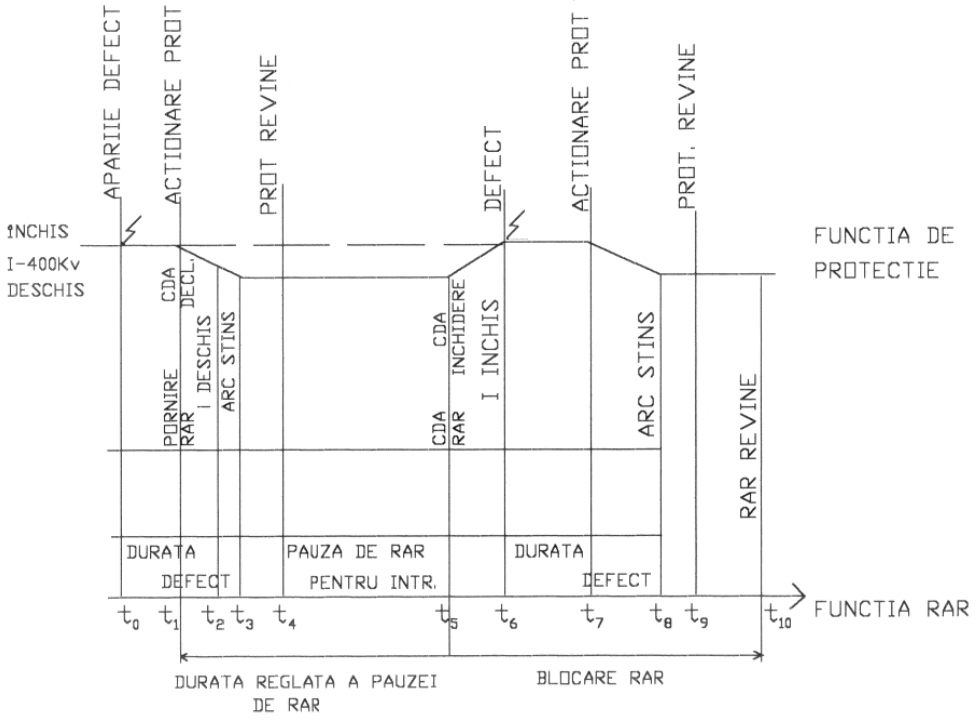


Figura 5.35. Schema logică pentru funcția de R.A.R.

Protecția revine la momentul t_4. La expirarea pauzei RAR-M reglate, în momentul t_5 funcția RAR emite impuls de reanclanşare care este executat de întrerupător la momentul t_6. Din momentul t_5 începe pauza de blocaj RAR (de regulă 10s) care încheie ciclul de RAR

Reanclanşarea se produce pe defectul persistent, astfel încât la t_7

protecția emite un nou impuls de declanşare care este executat de întrerupător la momentul t_8, protecția revenind la t_9. Prin t_{10} s-a marcat momentul revenirii din pauza de blocaj a funcției RAR. După expirarea pauzei de blocaj, funcția RAR este gata pentru un nou defect.

Durata pauzei de RAR, durata impulsului de reanclanşare şi durata pauzei de blocaj RAR se pot regla independent şi într-o gamă largă de valori.

5.6.1.9. Funcția de protecție maximală de tensiune

Protecția maximală de tensiune asigură declanşarea întrerupătorului în cazul funcționării sistemului energetic cu nivele ridicate de tensiune. Funcția supraveghează toate tensiunile de fază şi, dacă cel puțin una dintre acestea este mai mare decât pragul reglat, cu o temporizare reglată, se emite impuls de declanşare.

5.6.1.10. Funcții de supraveghere sistem

Terminalul de protecție REL-521 are incluse şi funcții de supraveghere sistem. Din această categorie fac parte următoarele funcții:

– supraveghere suprasarcină de curent;

– conductor rupt;

– monitorizare tensiuni.

Funcția de supraveghere a suprasarcinii de curent

Funcția de supraveghere a suprasarcinii de curent este destinată pentru a semnaliza depăşirea valorii normale a circulației de curent. Principial, este o funcție de protecție maximală de curent temporizată. Dacă curentul de pe cel puțin o fază depăşeşte pragul reglat (de regulă, pragul reglat coincide cu curentul nominal primar al transformatoarelor de curent), cu o temporizare reglabilă, se emite un semnal de alarmă.

Funcția de semnalizare a ruperii unui conductor

Principial, această funcție de protecție este o protecție maximală de curent de secvență inversă, temporizată. În acest fel, se semnalizează practic orice asimetrie a curenților din cele trei faze.

Funcția de monitorizare a tensiunilor

Cele trei tensiuni de fază sunt supravegheate permanent, iar în cazul lipsei tuturor tensiunilor pentru un interval de timp mai mare de 7s (temporizare fixă, nereglabilă) se emite un semnal de alarmă.

5.6.1.11. Funcția de interfațare cu operatorul

Interfața operator este alcătuită din: LED-uri (verde, galben şi roşu); afişaj cu cristale lichide şi tastatură; porturi seriale de comunicație pentru conectarea la calculator. Ecranul cu cristale lichide (LCD) oferă toate informațiile despre terminalul de protecție de linie şi permite, cu ajutorul tastaturii, introducerea reglajelor ca şi executarea tuturor operațiilor de configurare. În cazul unui eveniment, ecranul se va ilumina şi se vor prezenta prin defilare automată datele ultimelor două evenimente. Toate datele oferite sunt organizate în arbore de meniuri, în aşa numitele ferestre de afişare.

5.7. PROTECȚIA INTEGRATĂ A REȚELELOR ELECTRICE

Progresul realizat în domeniul electronicii digitale face ca astăzi majoritatea funcțiilor echipamentului secundar să poată fi implementate cu ajutorul modulelor software care rulează pe o platformă bazată pe calculator. Unitățile funcționale menționate mai sus sunt utilizate atât pentru controlul cât şi pentru protecția liniilor electrice. În țară au fost implementate experimental numeroase variante constructive de protecții integrate aliniilor electrice, fără a exista până în prezent o variantă optimă. Dintre cele mai noi variante de protecții integrate existente în exploatare la noi în țară (produsă în țară de firma TELECOMM S.R.L.), o variantă de succes o reprezintă "releul" digital DIPA 100.

5.7.1 Protecția integrată a unei linii electrice cu releul digital DIPA 100

Releul digital de protecție complexă DIPA- 100 este un echipament care înglobează practic toate funcțiile de protecție – automatizare necesare pentru o linie electrică de 110 kV ÷ 400 kV.

Prin complexitatea funcțiilor înglobate, DIPA-100 se situează în categoria terminalelor de linie, concept introdus recent, care semnifică un echipament complex, ce înglobează atât setul de protecții necesare pentru o linie electrică, cât şi automatizările ce iî sunt asociate. Protecția de distanță, ca element de bază, este concepută cu 6 elemente de măsură independente, care asigură eliminarea rapidă, sigură şi selectivă a defectelor pe linii electrice cu neutrul legat direct sau prin impedanța mică la pământ.

Echipamentul poate fi folosit de sine stătător sau cu integrare în teleconducere, grație extensiei DIPA-SCADA, cu ajutorul căreia terminalul devine simultan un sistem de achiziție de date pentru aplicații EMS-SCADA.

DIPA-100 include următoarele funcții independente de protecție a liniei

electrice:

Protecție de Distanță digitală PD cu următoarele extensii:

– Sistem de blocaj la pendulații PD.BP.

– Interfața şi logica de teleprotecție PD.TLP.

– Sistem de verificare-blocare la arderea siguranțelor circuitelor de tensiune PD.BASU cu comutare opțională pe maximala de curent de rezervă (DIPA-MAX).

– Protecție rapidă la închiderea întrerupătorului pe defect (switch-on-to-fault) PD.PRID.

– Protecție Homopolară Direcționată PhDIR.

– Protecție Maximală de rezervă MAX (ca rezervă pentru DIPA-PD).

– Următoarele funcții suplimentare completează necesitățile de protecție/automatizare/integrare în SCADA, pentru o linie electrică de 110 - 400 kV:

– RAR M, T, M+T, cu verificare de condiții RAR

– Interfața om-maşină MMI

Funcțiile speciale şi de integrare în sistemul SCADA, cuprind:

–interfața de supervizare mărimi binare/analogice şi comunicație cu sistemul

–de teleconducere SCADA.miniACE,

–osciloperturbograf de linie SCADA.CDR,

–opțional, extensie de comandă în instalație prin SCADA, SCADA.CD,

–integrare în sistemul de protecție clasic,

–funcție de măsură locală (U, I, P, Q, f, Z, φ etc.).

5.7.2. Caracteristici tehnice generale ale DIPA 100

Echipamentul DIPA 100 poate fi integrat atât în soluții clasice de protecție-conducere stații electrice, cât şi în sisteme noi, cum ar fi sistemul distribuit de teleprotecție-teleconducere GALAXY.

DIPA 100 este realizată într-o structură multiprocesor, acumulând o putere de calcul de aproximativ 48 MegaFLOPS (48 mega-operații în virgula mobilă pe secundă) prin utilizarea tehnologiei DSP din ultima generație. Acest lucru a permis implementarea unor algoritmi numerici de calculare a impedanțelor şi a diverselor condiții de blocare de o complexitate şi de o stabilitate, care să întrunească condițiile de siguranță necesare unui astfel de echipament.

Funcția de protecție digitală de distanță are următoarele caracteristici principalele :

–număr elemente de măsurare independente şi simultane: 6 (R0, S0, T0, RS, ST, TR);

–număr zone de declanşare: 5 (fiecare zonă fiind de tip poligonal) adică: –față, spate sau nedirecționat: 3,

– demaraj direcționat: 1,

–demaraj nedirecționat: 1;

–reglaje separate pentru zona 1 (sensibilizare în corelație cu RAR);

–reglaje de compensare a rezistenței arcului în orice trepte la detectarea unor defecte cu pământul;

–timp tipic de declanşare în treapta rapidă, inclusiv releul de ieşire cu contacte puternice: 25 ms;

–timp maxim de declanşare în treapta rapidă, inclusiv releul de ieşire cu contacte puternice: 30 ms;

–elementul direcțional este cu sensibilitate nelimitată (o bună comportare a direcției la scurtcircuite cu tensiune foarte mică);

–domeniu de reglaj R, X pe fiecare treaptă: 0.01 Ω - 650 Ω, în paşi de 0.01Ω

reglaj temporizări (pentru fiecare zonă): 0 ÷ 6 s, din 10 în 10 ms;

–precizia măsurătorii impedanței: ± 5 % pentru I = (0,5 ÷ 20)·I_n;

–precizia măsurării temporizărilor ±(1%+20 ms.), pentru t_{reglat}> 30 ms;

–coeficient de revenire : 5% ;

–valoare minimă de acționare în curent : 0.2 ·I_n;

–blocaj la pendulații - intern (după criteriul dZ/dt) şi/sau extern;

–funcții de verificare a plauzibilității mărimilor măsurate, realizate în timp real;

–blocaj la lipsa tensiunii alternative: intern (ardere siguranțe, monofazat, bifazat şi trifazat)/ extern ;

– posibilitatea trecerii automate pe maximala de curent în două trepte, ca element de rezervă;

– declanşare mono şi trifazată;

– selectarea unei funcții de teleprotecție;

– sensibilizarea protecției la comanda de declanşare a întrerupătorului din capătul opus (accelerated underreach protection AUP);

– sensibilizarea protecției la conectare pe defect (switch on to fault).

Funcția de protecție homopolară direcționată are următoarele caracteristici principale:

– 2 trepte independente;

– precizia măsurării temporizărilor pentru caracteristica independentă: ±(1%+20 ms.);

– precizia măsurării temporizărilor pentru caracterisica dependentă :

±(7.5%+50 ms);

– 4 caracteristici i=f(t): normală, inversă, foarte inversă, extrem inversă;

– curent homopolar de pornire: $I_h / I_n = 0.1 \div 4$, în trepte de $0.05 \div I_n$;

– temporizare 0 - 6 s, în trepte de 0.01 sec. pentru caracteristica independentă;

– unghiul caracteristic: 110^0 capacitiv.

DIPA-MAX realizează funcția de protecție maximală în caz de ardere siguranțe pe circuitele de tensiune. Protecția este o rezervă de urgență a protecției de distanță, în condițiile în care PD nu mai poate măsura corect impedanța Z şi direcția scurtcircuitului (PD şi PhDIR sunt blocate).

Funcția conține două relee maximale nedirecționate cu caracteristica independentă sau dependentă (normală, inversă, foarte inversă, extrem inversă):

– o maximală în două trepte pentru curenții de linie (R, S, T);

– o maximală în două trepte pentru curentul homopolar (R, S, T).

Protecția de supracurent I> are o caracteristică independentă de timp (secționare de curent) cu următoarele caracteristici:

– timp minim de deconectare t = 30 ms;

– temporizare $0 \div 10$ s, în trepte de 0.01 s;

–curent de pornire (pentru curenți de fază): $I> / I_n = 0.1 \div 10$, în trepte de $0.05 \cdot I_n$;

–curent de pornire (pentru curentul homopolar): $I_h> / I_n = 0.1 \div 4$, în trepte de $0.05 \cdot I_n$.

Sistemul RAR realizează funcția de reanclanşare automată rapidă şi are următoarele caracteristici:

– 1 ciclu RAR;

– pauză de RAR $0.2 \div 6$ s, în paşi de 0.05 s. eroarea de măsură ± 20 ms;

–timp blocaj $5 \div 30$ s, în paşi de 1 s, eroarea de măsură ± 50ms;

–durată impuls anclanşare $0.5 \div 3$ s, în paşi de 0.1 s, eroarea de măsură ± 20ms.

–RAR monofazat fără condiții;

– RAR mono+trifazat şi trifazat cu condiții: lipsă de tensiune şi/sau control sincronism;

– prelungirea treptei 1 la PD prin scheme flexibile multiple.

Interfața locală om-maşină (MMI) permite următoarele facilități:

– vizualizarea demarajelor (R0, S0, T0, RS, ST, TR si H);

–vizualizarea treptei de declanşare (1, 2, 3, 4, si 5);

–vizualizare impulsurilor de declanşare (R, S, T,);

–vizualizarea impulsului de anclanşare şi a altor mărimi prin 24 led-uri cu automenținer până la confirmarea locală de către operator;

– afişarea şi modificarea locală a parametrilor setaţi ai protecţiei, cu ajutorul tastaturii şi afişorului LCD al echipamentului;

– afişarea continuă a unor mărimi de regim permanent, în situaţie normală (valori tensiuni, curenţi etc.) – în funcţie de măsura locală a mărimilor pe linie

Funcţia SCADA asigură funcţii speciale necesare supervizării şi integrării în sistemul de teleconducere-teleprotecţie al staţiei.

Acest lucru este realizat prin compatibilizarea, din punct de vedere extern, a echipamentului DIPA-100 cu echipamentele de teleconducere ACE28S şi cu cele de perturbografiere CDR, fabricate de TMM.

Extensia DIPA-SCADA înglobează componentele SCADA.miniACE, SCADA.CDR şi SCADA.CD.

Interfaţa de supervizare mărimi binare/analogice şi comunicaţii cu sistemul de teleconducere se numeşte SCADA.miniACE.

Această componentă conţine toate facilităţile specifice echipamentului ACE 28S, care înglobează, de asemenea, ca extensie, jurnalul de evenimente sintetizate de către DIPA în cursul funcţionării acesteia (EV).

EV realizează funcţia de înregistrator de evenimente DIPA şi are următoarele caracteristici:

– memorează evenimentele numerice în bufferul miniACE-ului de 1024 evenimente;

– rezoluţia temporală: 1 ms;

– generează şi memorează evenimente la:

– schimbare parametri,

– demaraje protecţii,

– declanşare,

– evenimente specifice RAR/DAR,

– setare timp,

– ardere siguranţe şi revenire din defect,

– schimbare de stare a unor semnalizări externe,

– alte schimbări de stare interne sau externe.

Elementele specifice supervizării şi integrării în SCADA, realizate cu extensia miniACE în cadrul DIPA sunt:

– primele 16 intrări numerice ale echipamentului DIPA-100 sunt citite independent şi de către miniACE;

– miniACE posedă încă 16 intrări numerice proprii, prin care se pot citi alte informaţii binare specifice liniei, altele decât cele care sunt de interes direct pentru DIPA.

MiniACE asigură, totodată, şi comunicaţia cu nivelul ierarhic superior de teleconducere prin intermediul următoarelor linii de comunicaţie:

– interfața de adaptare la "field-bus"-ul izolat galvanic, de tip buclă de curent multipunct tip TMM;

– opțional, field-bus-ul poate fi de tip RS 485; viteza de comunicație este 9600 sau 19200 baud;

– opțional, interfața de comunicație prin fibră optică (viteza de comunicație 9600 sau 19200 baud);

– asigură comunicația prin protocol multipunct de tip TELECOMM sau RP 570 (opțional).

Funcția de teleconducere-osciloperturbografie de linie SCADA.CDR are următoarele caracteristici :

– Timp total de înregistrare: aprox. 30 s,

– Timpi înregistrare,

– Durata preavariei reglabilă 50 ÷ 400 ms,

–Durata înregistrării t_{CDR} reglabilă 1000 ÷ 18000 ms.

Se înregistrează 8 mărimi analogice (U_R, U_S, U_T, U_H, I_R, I_S, I_T, I_H) şi 32 binare.

Extensie de comandă în instalații prin SCADA, SCADA.CD se foloseşte în situațiile când din rațiuni financiare nu se justifică montarea unui echipament de teleconducere de sine stătător, care să realizeze teleconducerea liniei electrice protejată de către DIPA-100. Extensia SCADA poate fi completată cu modulul de comenzi în instalații prin SCADA, SCADA.CD.

Acest modul posedă 8 ieşiri prin releu independente de cele ale protecției, pentru comenzi prin teleconducere, care pot fi comandate prin intermediul extensiei SCADA.miniACE.

Prin introducerea acestui modul se poate realiza o protecție şi o teleconducere integrată, minimizându-se costurile de implementare a unui sistem complet digital modern.

Sistemele de monitorizare şi telecomandă a rețelelor reprezintă instrumente bazate pe calculator, utilizate de dispecerii energetici pentru a-i asista în controlul funcționării sistemelor energetice complexe.

Câteva din instrumentele enumerate mai sus ar fi – sistemul EMS (Energy Management System), DMS (Distribution Management System) şi SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Baza întregului eşafodaj care concură la supravegherea, controlul şi monitorizarea echipamentelor electrice din stațiile şi rețelele electrice o constituie echipamentele de achiziție şi comandă (EAC).

5.8. SISTEME SCADA
SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION

În cazul concret al implementărilor de sisteme SCADA, care deservesc instalații, rețele sau sisteme electroenergetice, întâlnim mai multe funcții de bază.

Dintre acestea cele mai importante sunt:

–Supravegherea şi controlul de la distanță al instalațiilor şi rețelelor electroenergetice;

–Alarmarea;

–Analiza post avarie;

–Urmărirea încărcării rețelelor

–Planificarea şi urmărirea reviziilor şi reparațiilor

5.8.1. Funcțiile de bază ale sistemului SCADA

Funcția fundamentală a unui sistem SCADA o reprezintă supravegherea şi controlul de la distanță al instalațiilor şi rețelelor electroenergetice în scopul asigurării mentenanței şi fiabilității acestuia.

5.8.1.1. Supravegherea şi controlul de la distanță

În acest scop, se realizează: culegerea de informații asupra stării sistemului energetic, prin intermediul interfețelor de achiziție corespunzătoare; transferul informațiilor către punctele de comandă şi control; comanda de la distanță a proceselor electroenergetice; înregistrarea modificărilor semnificative ale procesului controlat.

Operațiunile de comutare (conectare/deconectare) ale echipamentelor primare pot fi comandate de la distanță de la un centru de control (dispecer energetic). Stările întrerupătoarelor şi separatoarelor, valorile măsurilor de tensiuni, curenți etc. sunt permanent cunoscute la centrul de control, fiind la îndemâna dispecerului energetic. Acest lucru face să crească eficiența operațională la postul de dispecer, prin creşterea numărului de informații disponibile şi prin reducerea timpilor de actualizare a acestor informații.

Informațiile provenite de la instalațiile electroenergetice pot fi grupate şi dirijate către postul de comandă sub autoritatea căruia se găsesc aceste instalații şi de asemenea, ele pot fi utilizate pentru analizele globale ale rețelelor electrice

5.8.1.2. Alarmarea

Sistemul recunoaşte stările de funcţionare necorespunzătoare ale echipamentelor şi reţelelor electrice (suprasarcini, nivele de tensiune în afara limitelor, acţionarea sistemelor de protecţie, modificarea nedorită a stării întrerupătoarelor şi separatoarelor, etc.) şi avertizează optic/acustic dispecerul asupra celor întâmplate realizând astfel funcţia de alarmare.

5.8.1.3. Analiza post avarie

Sistemul întreţine un istoric al modificării stărilor echipamentelor şi reţelelor electrice, punând la dispoziţia dispecerului informaţiile necesare unei analize pertinente a evenimentelor petrecute.

Toate evenimentele sunt memorate alături de localizarea lor în timp si spaţiu, fiind prezentate dispecerului, în general, în ordine cronologică, grupate pe categorii de instalaţii.

Totodată, aceste informaţii pot constitui "materia primă" pentru sisteme expert de analiză post avarie asistată de calculator, precum şi pentru sisteme expert de restaurare a sistemelor electrice după căderi (care pot asista dispecerul sau pot intra în funcţiune în mod automat).

Informarea de ansamblu a dispecerului asupra topologiei şi stării sistemului energetic condus, prin intermediul interfeţelor om-maşină (MMI: Man-Machine Interface). Funcţia de interfaţare cu operatorul uman este de o importanţă deosebită în asigurarea unei activităţi eficiente a dispecerului.

Sunt urmărite cu deosebire: claritatea şi conciziunea prezentării informaţiilor despre procesul tehnologic condus (evitarea confuziilor), comoditatea în obţinerea informaţiilor dorite, comoditatea şi inconfundabilitatea comenzii către proces etc. Toate aceste deziderate sunt bazate pe utilizarea unei interfeţe grafice puternice la postul de lucru dispecer.

5.8.1.4. Urmărirea încărcării reţelelor

În scopul optimizării funcţionării reţelelor electrice, este memorată evoluţia circulaţiilor de puteri. Aceste informaţii pot fi folosite la o mai bună planificare a resurselor, precum şi a schemelor reţelei şi a reglajelor tensiunii transformatoarelor din sistemul energetic.

5.8.1.5. Planificarea şi urmărirea reviziilor şi reparaţiilor în scopul evitării căderilor

Monitorizarea evoluţiei funcţionării diferitelor echipamente oferă

informații care, analizate corespunzător pot duce la necesitatea reviziilor/ reparațiilor acestor echipamente sau instalații. Această analiză poate fi asistată de sisteme expert.

5.8.2. Funcții EMS Energy Management System

Constituie extinderi ale funcțiunilor SCADA şi au utilitate mai ales la nivelul dispeceratului național şi conține la rândul său funcții specifice.

Controlul producției de energie şi funcțiuni de planificare:

În acest tip de funcțiuni sunt incluse:

– reglajul frecvență-putere;
– dispecer economic;
– monitorizarea costurilor de producție;
– monitorizarea rezervelor;
– planificarea tranzacțiilor pe liniile de interconexiuni;
– evaluarea schimburilor de energie pe termen scurt.

Aplicații legate de transportul energiei sunt gândite pentru a asista operatorul şi personalul de planificare în asigurarea unei funcționări sigure şi economice ale sistemului energetic. În această categorie sunt incluse următoarele funcțiuni:

– analiza rețelei în timp real, care cuprinde:
  –prelucrarea topologiei,
  –estimatorul de stare;
– adaptarea parametrilor rețelei;
– analiza senzitivității rețelei;
– evaluarea consecințelor unor evenimente;
– dispecer economic cu constrângeri de siguranță;
– repartiția tensiunilor;
– analiza scurtcircuitelor.

Funcții **studii de analiză a rețelei** cuprinde:

–calculul circulațiilor de puteri;
–circulații de puteri optimale;
–analiza consecințelor unor manevre planificate;
–planificarea reparațiilor;
–analiza scurtcircuitelor.

Simulatorul de instruire pentru dispeceri se realizează pentru formarea şi antrenarea personalului cu funcții de dispecerat. Un simulator constă din patru subsisteme şi anume:

– modelul sistemului energetic care simulează matematic comportarea

sistemului, inclusiv echipamentele de control şi protecţie;

– modelul centrului de comandă şi control;

– subsistemul educaţional care constă în instrumente software care stau la dispoziţia instructorului pentru a crea situaţiile care îi folosesc în cursul procesului de instruire;

– subsistemul de comunicaţie care modelează comportarea sistemului de culegere a datelor.

5.8.3. Funcţii DMS: Distribution Management System

În cadrul unui sistem de distribuţie a energiei electrice, repartiţia geografică a instalaţiilor joacă un rol foarte important. Din acest motiv, tendinţa în acest domeniu este de a utiliza o structură a bazei de date care să permită adăugarea sau înlăturarea unor componente în mod interactiv, să aibă o structură bazată pe repartiţia geografică şi să afişeze conectivitatea pe hărţile zonei respective.

Funcţiunile unui sistem de teleconducere a distribuţiei nu sunt standardizate, dar totuşi, trebuie să existe componente importante, cum ar fi:

– **Analiza conectivităţii**.

În mod obişnuit, se folosesc scheme color pe care se reprezintă aceste informaţii. Se reprezintă toate echipamentele de distribuţie conectate la o plecare, toate plecările conectate la un întrerupător într-o staţie, precum şi schema staţiei. Trebuie să fie posibilă identificarea plecărilor adiacente.

– **Culegerea datelor**.

– **Controlul automat al tensiunii şi puterii** pe fiecare plecare.

Această funcţie se utilizează pentru a păstra tensiunile între anumite limite, prin controlul direct asupra ploturilor transformatoarelor şi prin conectarea/ deconectarea bateriilor de condensatoare.

– **Analiza conectărilor / deconectărilor**.

Prin această funcţie se verifică dacă acţiunea planificată a conectărilor/deconectărilor nu va avea drept consecinţă o suprasarcină. Această funcţie nu se execută în timp real.

– **Calculul circulaţiei de puteri**.

Acesta permite dispecerului să studieze circulaţiile de puteri pentru anumite zone selectate. Funcţia se execută în timp real, putându-se stabili şi circulaţiile linie cu linie. Rezultatele calculelor sunt supuse verificării limitelor şi alarmării, similar cu valorile telemăsurate.

– **Program de analiza scurtcircuitelor.**

– Reducerea pierderilor.

Urmăreşte minimizarea acestora prin controlul tensiunii şi prin

calcularea unei topologii optime.

Menirea sistemului energetic este de a produce, transporta şi distribui energia electrică la consumatori. Pentru a realiza aceste deziderate se impune o fiabilitate crescută atât a echipamentelor primare, cât şi a echipamentelor secundare de protecţie/automatizare, ţinându-se cont şi de factorul economic.

Continua modernizare, precum şi creşterea performanţelor echipamentelor de protecţie sunt de reală actualitate şi importanţă pentru toţi cei implicaţi în producţia, transportul, distribuţia şi consumul de energie.

Plecând de la cunoştinţele acumulate de-a lungul timpului în activitatea de exploatare/furnizare a energiei, s-au dezvoltat echipamente diverse care pot acoperi majoritatea regimurilor de funcţionare a reţelelor. În acest mod, au fost realizate diferite tipuri de relee de protecţie numerice, în funcţie de mărimile electrice necesar a fi supravegheate.

Constatându-se că majoritatea informaţiilor necesare protecţiilor au surse comune de informaţii dinspre echipamentele primare, a rezultat o integrare tot mai strânsă a supravegherii şi controlului, a protecţiei şi a automatizării.

Dezvoltarea sistemelor SCADA (Supervizory Control And Data Aquisition) este strâns legată de evoluţia integrată reciprocă între tehnologiile primare şi secundare din staţiile de transformare; ea poate fi împărţită în trei etape majore: convenţională, modernă şi inteligentă.

Evoluţia protecţiilor multifuncţionale a fost condiţionată de dezvoltarea tehnologiilor de fabricaţie a echipamentelor – atât a celor primare, cât şi a celor secundare. Progresul realizat în domeniul electronicii digitale a făcut posibilă realizarea unităţilor multifuncţionale utilizate atât pentru control, cât şi pentru protecţie.

O tendinţă care se accentuează din ce în ce mai mult este aceea de a integra echipamentul secundar al unei celule într-un singur dispozitiv.

Etapa convenţională era caracterizată prin existenţa unui număr mare de echipamente interconectate între ele prin fire conductoare – acest lucru făcând ca legăturile să fie realizate dintr-un număr mare de conexiuni.

În ultima vreme se constată o integrare a comunicaţiei între nivelul celulei şi cel al staţiei, acest lucru realizându-se cu ajutorul transmisiei seriale, înlocuindu-se astfel conexiunile individuale tradiţionale pentru fiecare semnal.

În viitor, introducerea conexiunii prin fibră optică între echipamentul de protecţie şi cel de înaltă tensiune va duce la mutarea delimitării tradiţionale între secundar şi primar. Funcţiile de conversie analog-digitală, precum şi unele funcţii de procesare vor fi descentralizate şi amplasate cât mai aproape de proces şi vor fi integrate fizic în echipamentul primar.

Pentru a verifica modul de însuşire a cunoştinţelor prezentate în acest capitol răspundeţi pe scurt la următoarele întrebări:

1. De ce se impune eliminarea rapidă a defectelor din instalaţiile electrice?
2. Clasificaţi protecţiile electrice după echipamentul protejat.
3. Clasificaţi protecţiile electrice după tensiunea nominală.
4. Clasificaţi protecţiile electrice după tipul de defect.
5. Clasificaţi protecţiile electrice după timpul de acţionare.
6. Clasificaţi protecţiile electrice după echipamentul de protecţie.
7. Clasificaţi protecţiile electrice după modul de conectare în instalaţie.
8. Clasificaţi protecţiile electrice după modul de acţionare asupra defectului.
9. Clasificaţi protecţiile electrice după gradul de automatizare.
10. Care sunt cele mai frecvente defecte ce apar în instalaţiile electrice?
11. Ce tipuri de scurtcircuite cunoaşteţi?
12. Care este cel mai frecvent defect ce apare în funcţionarea unui motor?
13. Ce asigură protecţia de suprasarcină a unui motor?
14. Ce asigură protecţia la supracurenţi a unui motor?
15. Ce asigură protecţia la scurtcircuit a unui motor?
16. Ce asigură protecţia la tensiune scăzută a unui motor comandat prin contactoare?
17. Cât este reglajul releului maximal de curent de tip electromagnetic ce protejează un motor asincron?
18. Cum se inversează sensul de rotaţie a unui motor asincron?
19. Cum se inversează sensul de rotaţie a unui motor de curent continuu?
20. Ce metode de pornire a motoarelor asincrone cunoaşteţi?
21. Ce motoare permit pornirea stea–triunghi?
22. Care este soluţia optimă din punct de vedere energetic pentru pornirea unui motor asincron cu rotorul în scurtcircuit?
23. Ce metode specifice de pornire a motoarelor asincrone cu rotorul bobinat cunoaşteţi?
24. Ce tipuri de protecţii ale motoarelor sincrone cunoaşteţi?
25. Ce tipuri de protecţii ale generatoarelor sincrone cunoaşteţi?
26. Ce este un releu diferenţial?
27. Ce rol are A.D.R. în protecţia generatoarelor sincrone?
28. Ce rol au bobinele de reactanţă în circuitele electrice?
29. Ce defecte interne apar în transformatoarele de putere?
30. Ce defecte externe afectează funcţionarea transformatoarelor de putere?
31. Ce asigură protecţia de gaze a unui transformator?
32. La ce transformatoare se foloseşte protecţia de gaze?
33. Ce protecţii electrice se folosesc la transformatoarele de putere?
34. Ce proprietăţi are o protecţie electrică?

35. Ce menire are un sistem energetic?
36. Ce părți componente are un sistem energetic?
37. Clasificați rețelele electrice după tensiunea nominală?
38. Clasificați rețelele electrice după structură?
39. Clasificați rețelele electrice după modul de tratare a neutrului?
40. Ce tip de protecție se foloseşte la liniile electrice radiale simple?
41. Ce tip de protecție se foloseşte la liniile electrice radiale complexe?
42. Ce tip de protecție se foloseşte la liniile electrice cu alimentare bilaterală?
43. Care este protecția fundamentală a liniilor electrice de înaltă tensiune?
44. Care este elementul caracteristic al unei protecții de distanță?
45. Ce sisteme de automatizare a sistemului energetic cunoaşteți?
46. Ce rol are sistemul R.A.R.?
47. Ce rol are sistemul A.A.R.?
48. Ce rol are sistemul D.A.S.U.?
49. Ce rol are sistemul D.A.S.F.?
50. Ce înțelegeți printr-o protecție numerică?
51. La ce se folosesc protecțiile numerice?
52. Ce rol are funcția „protecție de distanță“ a unei protecții numerice?
53. Ce rol are funcția „supravegherea circuitelor de măsură“ a unei protecții numerice?
54. Ce rol are funcția „protecție maximală de curent instantanee“ a unei protecții numerice?
55. Ce rol are funcția „homopolară de curent direcționată“ a unei protecții numerice?
56. Ce rol are funcția „locator de defecte“ a unei protecții numerice?
57. Ce rol are funcția „înregistrator secvențial de evenimente“ a unei protecții numerice?
58. Ce rol are funcția „accelerarea protecție la conectarea la defect“ a unei protecții numerice?
59. Ce rol are funcția „R.A.R.“ a unei protecții numerice?
60. Ce rol are funcția „protecție maximală de tensiune“ a unei protecții numerice?
61. Ce rol are funcția „supraveghere sistem“ a unei protecții numerice?
62. Ce rol are funcția „interfațare cu operatorul“ a unei protecții numerice?
63. Ce tipuri de protecții digitale cunoaşteți?
64. Ce funcții are „releul“ DIPA 100?
65. Ce înțelegeți prin SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION?
66. Ce funcții are sistemul SCADA?
67. Ce înțelegeți prin Energy Management System ?
68. Ce înțelegeți prin Distribution Management System?

69. Cine foloseşte sistemul D.M.S.?
70. Ce avantaje au protecțiile numerice?

BIBLIOGRAFIE

1. Andrea P. „*Electromagneţi”*, Editura Helicon, Timişoara, 1993.
2. Baraboi A., Adam M., Cristea I., Hnatiuc E. „*Tehnici moderne de comutaţie de putere”*, Editura A 92, Iaşi, 1996.
3. Bălaşiu F., Gal S., Făgărăşan T, Vasilievici Al. „*Implementarea echipamentelor digitale de protecţie şi comandă pentru reţelele electrice”*, Editura Tehnică, Bucureşti, 2000.
4. Conecini I. „*Calitatea energiei electrice*”,Editura Tehnică, 1997.
5. Davies T. „*Protection of industrial power systems*”, Editura Butterworth Heinemann, 1998.
6. Delapeta M., Deaconu S., Iagăr A. „*Echipamente electrice”,* vol.I şi II, Centrul de multiplicare al U.P.T., 2000.
7. Deleşega I., „*Aparate electrice”*,Litografia Universităţii Tehnice, Timişoara, 1993.
8. Guzun B., Darie G., Gal S., Olovinaru D., „*Centrale şi reţele electrice, vol. I, II, III”*, Editura MS, Sibiu, 1998.
9. Hortopan Gh., „*Aparate electrice de comutaţie”*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1993, 1996.
10. Hosch W., Hanschild W., „*Izolaţii de înaltă tensiune în hexafluorură de sulf”*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1994.
11. Hütte, „*Manualul inginerului; fundamente”*, Editura Tehnica, 1995.
12. Leca M., Calistru N.C. , Mihai I., Pal C., „*Protecţia sistemelor electroenergetice”*, Ed. Crenguţa Gâldău, Iaşi 1996.
13. Moldovan L., „*Echipamente electrice”*, U. T. T., Timişoara, 1994.
14. Olaru O., „*Protecţia sistemelor energetice”*, Tipografia Universităţii „C. Brâncuşi” Tg-Jiu, 1993.
15. Oprea L., Ivaşcu C., „*Automatizări şi protecţii prin relee în sistemele electroenergetice*”, Editura Universitatea Tehnică, Timişoara, 1994.
16. Pemşa C., Călin S., „*Protecţia prin relee a sistemelor electrice*”, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1999.
17. Peter C., „*Instalaţii electrice de distribuţie”*, Editura Mediamira 2000.
18. Popa I., Popa G.N., „*Dispozitive electronice cu structură cablată şi programată de protecţie a motoarelor asincrone trifazate de joasă tensiune”*, Editura Mirton, Timişoara, 2000.
19. Popescu L., „*Instalaţii şi echipamente electrice*”, Editura Alma Mater, Sibiu, 2004.

20. Popescu L., „*Aparate electrice*”, vol. II, Editura Alma Mater, Sibiu, 2003.
21. Vasilievici Al., „*Aparate şi echipamente electrice, vol II”*, Ed. Mitricel Sârbu & Co, Sibiu, 1996.
22. ***SIEMENS, „*Numerical Overcurrent Protection Relay 7SJ531”*, documentaţie tehnică, 1996.
23. ***TELECOMM, „*CDR – 16. 32*”, Documentaţie tehnică, 1995.
24. ***TELECOMM, „*DIPA – ACE*”, Documentaţie tehnică, 1996.